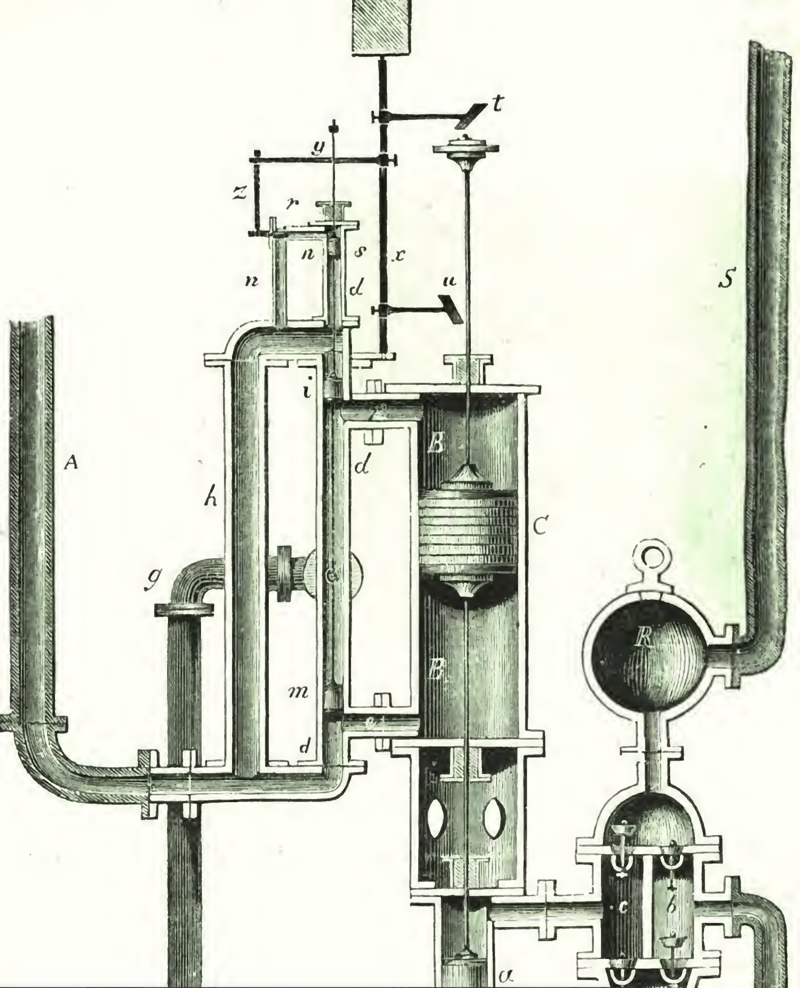


Lehrbuch der Physik und Meteorologie

Johann Heinrich Jacob Müller, Claude Servais Mathias Pouillet

Phys. g. 358 m/3

Pouillet

Digitized by Google

Supplemente

zur

Erſten Auflage

von

Müller-Pouillet's

Lehrbuch

der

Phyſik und Meteorologie.

Digitized by Google

Phys. g. 358 m

Supplemente

zur

Erſten Auflage

von

Müller-Pouillet's

Lehrbuch

der

Phyſik und Meteorologie.

Von

Dr. Joh. Müller,

Profeſſor der Phyſik und Technologie an der Univerſität zu Freiburg im Breisgau.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzſchnitten.

Braunſchweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1848.

Bayerische Staatsbibliothek München

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede.

Den beiden erſten Auflagen meines Lehrbuchs der Phyſik iſt eine dritte raſch gefolgt. Obgleich der Zeitraum zwiſchen dem Erſcheinen der verſchiedenen Auflagen keineswegs groß iſt, ſo erſcheint doch jede folgende ſo bedeutend bereichert gegen die vorhergehende, daß es vielen Beſitzern der früheren Auflagen wünſchenswerth ſeyn müßte, die ſpäteren Zuſätze allein erhalten zu können. In der That wurde ſowohl die Verlagshandlung als ich ſelbſt von verſchiedenen Seiten darum angegangen, zu jeder der früheren Auflagen einen Nachtrag drucken zu laſſen, welcher Alles das enthält, um welches die dritte Auflage gegen die früheren bereichert iſt. Wir glaubten dieſem Wunſche um ſo eher entſprechen zu müſſen, als ja gerade den Abnehmern der beiden früheren Auflagen es zu verdanken iſt, daß die dritte ſo bald erſcheinen konnte, ſo daß wir alſo durch Herausgabe dieſer Nachträge gewiſſermaaßen eine Pflicht gegen dieſelben erfüllen.

Freiburg, im Auguſt 1848.

J. Müller.

Erster Band.

Vom Gleichgewicht und der Bewegung.

Schraube und Keil.

In Nro. 18 auf S. 18. u. f. wird die ſchiefe Ebene beſprochen, an den Schluß dieſer Nummer auf S. 20 iſt Folgendes über die praktiſche Anwendung der ſchiefen Ebene beizufügen:

Praktiſche Anwendungen der ſchiefen Ebene kommen täglich vor. Jeder Weg, welcher eine Anhöhe hinaufführt, iſt eine ſchiefe Ebene, auf welcher Laſten von dem Thal bis zu dem Gipfel gehoben werden; um z. B. einen Laſtwagen auf einer geneigten Chauſſee aufwärts zu ziehen, muß außer der Kraft, welche nöthig iſt, um die Reibung zu überwinden, die gerade ebenſo auch bei ganz horizontalen Wegen überwunden werden muß, noch eine Kraft angewandt werden, um dem mit der ſchiefen Ebene parallel wirkenden Antheil der Schwerkraft das Gleichgewicht zu halten. Dieſer Antheil iſt aber um ſo größer, je ſteiler der Weg iſt. Aus dieſem Grunde führt man an ſteilen Bergen die Chauſſeen nicht geradeaus, ſondern man zieht vor, große Umwege zu machen und den Weg in Windungen, die weniger ſteil ſind, auf den Gipfel zu führen. Bei Bauten aller Art kommt es häufig vor, daß die Materialien auf ſchiefen Ebenen in die Höhe geſchafft werden, ja häufig werden ſolche ſchiefe Ebenen auf beſonders zu dieſem Zweck aufgeſchlagenen Gerüſten (Laufbrücken) angelegt. Dieſe Anwendung der ſchiefen Ebene war ſchon im grauen Alterthum bekannt, denn höchſt wahrſcheinlich bedienten ſich ihrer die Aegyptier, um die ungeheuren Steinblöcke in die Höhe zu ſchaffen, welche ſie zu ihren Pyramiden verwendeten.

Die **Schraube** iſt eine um einen Cylinder herumgewundene ſchiefe Ebene.

Fig. 1.

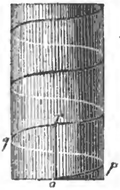


Fig 2.

Es ſei *abc*, Fig. 2, ein rechtwinkliges Stück Papier, deſſen horizontale Kathete *ab* dem Umfang des nebenſtehenden Cylinders, Fig. 1, gleich iſt. Wenn das Papier ſo um den Cylinder gerollt wird, daß *ab* die Peripherie der Grundfläche des Cylinders bildet, ſo wird ſich die Hypotenuſe *ac* in einer gleichförmig ſteigenden krummen Linie *opqr* um den Cylinder winden; wenn der Punkt *a* auf *o* fällt, ſo wird auch *b* mit *o* zuſammenfallen, der Punkt *c* aber wird vertikal über *o* in *r* zu liegen kommen. Die krumme Linie *opqr* nun, welche in unſerer Figur nach demſelben Geſetze fortgeſetzt gezeichnet iſt, wird eine **Schraubenlinie** genannt. Die auf die hintere Seite des Cylinders fallenden Stücke der Schraubenlinie ſind in unſerer Figur weiß. Die Höhe von *o* bis *r* iſt die **Höhe eines Schraubenganges**.

Denken wir uns an der Schraubenlinie um den Cylinder ein Dreieck fortgeführt, welches die Höhe eines Schraubenganges hat, ſo entſteht ein ſogenanntes **ſcharfes Schraubengewinde**, wie ein ſolches in Fig. 3 dargeſtellt iſt; denkt man ſich aber ein Viereck, deſſen Höhe gewöhnlich halb ſo groß iſt als die Höhe eines Schraubenganges, auf dieſelbe Weiſe um den Cylinder geführt, ſo entſteht ein **flaches Schraubengewinde**; ein ſolches iſt Fig. 4. dargeſtellt.

Fig. 3.

Fig. 4.

Wir haben bisher ſolche Schraubengewinde betrachtet, welche um einen ſoliden Cylinder herumgelegt ſind; Schrauben, welche auf dieſe Weiſe gebildet ſind, werden **Schraubenſpindeln** genannt; werden aber die Gewinde auf dieſelbe Weiſe um einen hohlen Cylinder herumgeführt, ſo entſteht eine **Schraubenmutter**.

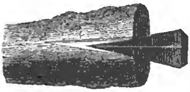
Eine Schraubenſpindel iſt für ſich allein zum Fortſchieben oder Heben einer Laſt, oder um einen ſtarken Druck auszuüben, nicht zu gebrauchen; ſie muß mit einer ſolchen Schraubenmutter ſo verbunden ſeyn, daß die Erhabenheiten der einen genau in die Vertiefungen der andern paſſen. Denken wir uns die Schraubenſpindel feſt und vertikal geſtellt, ſo wird die Schraubenmutter bei jeder Umdrehung um die Höhe eines Schrauben-

ganges auf- oder niedergehen, indem die Windungen der Schraubenmutter auf den Windungen der Schraubenſpindel wie auf einer ſchiefen Ebene auf- und niedergleiten. Sollte eine auf der Schraubenmutter liegende Laſt durch Umdrehung derſelben um die Schraubenſpindel gehoben werden, ſo iſt klar, daß hier dieſelben Principien gelten, wie bei einer ſchiefen Ebene von gleicher Steigung. Die Windungen der Schraube ſind um ſo weniger ſteil, je kleiner die Höhe eines Schraubenganges im Vergleich zum Umfang der Spindel iſt.

Die Schraube wird theils gebraucht, um große Laſten zu heben, theils um einen großen Druck auszuüben; der zu überwindende Widerſtand iſt bald an der Schraubenſpindel, bald an der Schraubenmutter angebracht. Um den Effect einer Schraube richtig zu berechnen, darf man die Reibung nicht außer Acht laſſen, die hier eine große Rolle ſpielt, wie wir ſpäter noch ſehen werden. Um aus der Schraube eine kräftige Maſchine zu machen, läßt man die Kraft, welche die Umdrehung bewirkt, nicht direct am Umfang der Schraube, ſondern an einem größern Hebelarm wirken, wie man dies an allen Schraubenpreſſen ſehen kann.

Der Keil. Eine andere Form, in welcher die ſchiefe Ebene zur Anwendung kommt, iſt der Keil; er wird gebraucht, um Holz- und Steinmaſſen zu ſpalten, Fig. 5; dadurch, daß man Keile unter die Kiele der Schiffe treibt, werden ſie auf die Werften gehoben; das Auspreſſen des Oels aus dem zerriebenen Saamen wird gewöhnlich durch Eintreiben von Keilen bewerkſtelligt u. ſ. w. Alle unſere Schneidewerkzeuge, Meſſer, Scheeren, Meißel u. ſ. w. ſind nichts anderes als Keile. Daß die Wirkung des Keils ſich wirklich auf die der ſchiefen Ebene zurückführen läßt, iſt ſo leicht zu überſehen, daß es wohl keiner weitern Auseinanderſetzung bedarf.

Fig. 5.



Die Schwungmaſchine.

Der Schluß der Nro. 42 auf S. 57 iſt folgendermaßen zu ergänzen: Um Verſuche über die Schwungkraft anzuſtellen, wird die ſogenannte Schwung- oder Centrifugalmaſchine angewendet; Fig. 6 (a. f. S.) ſtellt eine ſolche Schwungmaſchine, wie ſie Mechanikus Dechsle in Pforzheim conſtruirt, im Aufriß, Fig. 7 (a. f. S.) ſtellt ſie im Grundriß in $1/_{12}$ der natürlichen Größe dar.

An dem einen Ende des Brettes A iſt ein Schieber B angebracht, auf welchem ein Stehzapfen ſenkrecht befeſtigt iſt, um welchen das gußeiſerne

Schwungrad *C* ſich leicht in horizontaler Ebene umdrehen läßt. Am andern Ende des Brettes *A* iſt ein eiſerner Kloben *D* aufgeſchraubt, der das

Fig. 6.

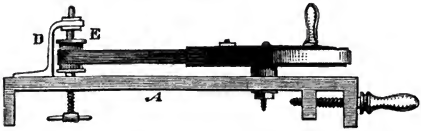
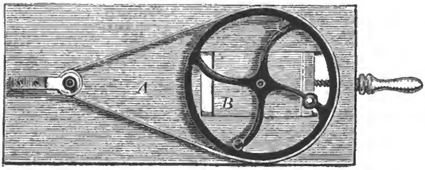


Fig. 7.



obere Ende der vertikalen Axe *E* feſthält. Die Axe *E* ſteht durch einen Riemen mit dem Schwungrad *C* in Verbindung, und um dieſen Riemen ſpannen zu können, iſt an dem Ende des Brettes *A* eine Schraube angebracht, mittelſt welcher der Schieber *B* ſammt dem Schwungrade *C* von der Axe *E* entfernt werden kann.

Die vertikale Axe *E* hat an ihrem oberen Ende einen nur wenig koniſchen Zapfen, auf welchen die zu verſchiedenen Verſuchen dienenden Apparate aufgeſetzt werden; es iſt nicht nöthig, daß dieſe Vorrichtungen durch einen Querſtift befeſtigt werden.

Der Riemen geht nicht direkt um die eiſerne Axe *E*, ſondern um eine an ihr befeſtigte hölzerne Rolle, da jedoch der Umfang dieſer Rolle viel kleiner iſt als der Umfang des Schwungrades, ſo macht auch die Rolle mit der Axe *E* in gleichen Zeiten ſo viel mal mehr Umdrehungen als das Schwungrad, als der Durchmeſſer der Rolle kleiner iſt als der Durchmeſſer des Rades. Wäre z. B. der Durchmeſſer des Rades 10mal ſo groß als der der Rolle, ſo würde die Axe *E* 10 Umdrehungen machen, während das Schwungrad nur eine macht, es iſt alſo leicht, die Axe *E* in eine ſehr raſche Rotation zu verſetzen.

Mit einer ſolchen Maſchine laſſen ſich viele Verſuche anſtellen, welche zur Erläuterung der Geſetze von der Schwungkraft dienen. Wir wollen die wichtigſten dieſer Verſuche näher betrachten.

In Fig. 8 ſey *a* die Hülſe, welche auf das obere koniſche Ende der Axe *E* Fig. 7. aufgeſetzt wird; auf *a* iſt ein horizontales ſchmales Brett befeſtigt, an deſſen Enden ſich zwei kurze vertikale Arme befinden, zwiſchen denen ein dünnes Metallſtäbchen oder ein Metalldraht ausgeſpannt iſt. Dieſer Metalldraht geht durch zwei Kugeln von Holz oder Elfenbein hindurch, welche durch zwei Schnüre mit einander verbunden ſind, ſo daß die Entfernung beider Kugeln von einander ſtets dieſelbe iſt, ſobald die Schnüre angeſpannt ſind. Das Loch in den Kugeln muß ſo groß ſein, daß ſich die Kugeln mit der größten Leichtigkeit auf dem Drahte verſchieben laſſen. Nehmen wir an, die Kugeln ſeyen ungefähr ſo geſtellt, wie es die Figur zeigt, ſo würden ſie, wenn der Apparat in Rotation verſetzt wird, ſich von der Mitte des Drahtes entfernend nach beiden Seiten auseinanderfahren und an den Endbrettchen anſchlagen, wenn es die Schnur nicht verhinderte. Da nun die Kugeln aus einander fahren können, ſo wird diejenige, für welche die Schwungkraft ſtärker iſt, die andere nach ſich ziehen. Wenn nun aber die Kugeln gerade ſo geſtellt ſind, daß die Schwungkraft für beide gleich iſt, ſo werden ſie ſich nicht von der Umdrehungsaxe entfernen können und ſich alſo im Kreis bewegen müſſen, ohne an den Endplatten hinzufahren.

Fig. 8.

Dieſes Gleichgewicht findet dann Statt, wenn ſich die Entfernungen beider Kugeln von der Mitte des Drahtes umgekehrt verhalten wie ihre Maſſen. Wäre die größere Kugel 2, 3, 4mal ſo ſchwer als die andere, ſo müßte die kleinere Kugel 2, 3, 4mal ſo weit von der Umdrehungsaxe, alſo von der Mitte des Drahts entfernt ſeyn.

Dieſer Verſuch beweiſ't, daß die Schwungkraft im Verhältniß des Halbmeſſers der Bahn wächſt, und daß ſie der Maſſe proportional iſt.

Daß ſich die Schwungkraft unter übrigens gleichen Umſtänden umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Umlaufszeit, daß ſie alſo bei 2, 3, 4mal ſo großer Umlaufszeit 4, 9, 16mal größer wird, läßt ſich folgendermaßen zeigen. Auf einem Brette, welches man Fig. 9. im Aufriß, Fig. 10 im Grundriß ſieht, und welches wie der vorige Apparat vermitelſt der Hülſe *a* auf die Schwungmaſchine aufgeſetzt wird, ſind ebenfalls auf beiden Seiten Endplatten befeſtigt, zwiſchen denen ein Metallſtab *ef* befeſtigt iſt, auf welchem ſich eine Kugel von ſchwerem Holz, von Elfenbein oder Metall ſich leicht ver-

Fig. 9.

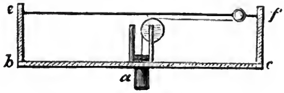
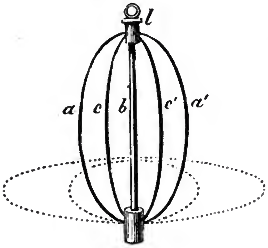


Fig. 10.

ſchieben läßt. An dieſer Kugel iſt eine Schnur befeſtigt, die über eine Rolle geht und an der gerade in der Mitte des Apparates ein Gewicht zwiſchen 4 Säulchen hängt, welche ſeine vertikale Bewegung ſichern. Dieſes Gewicht beſteht aus einer Metallplatte, in deren Mitte ein Stäbchen ſich befindet, an welchem oben die Schnur angeknüpft iſt. Auf dieſe Platte können mehrere eingeſchlitzte Metallplatten gelegt werden, deren jede ſo viel wiegt als die untere Platte ſammt dem Stäbchen. Sobald der Apparat in Rotation verſetzt wird, erhält die Kugel ein Beſtreben, von der Mitte nach *f* hinzufahren; bei hinlänglich raſcher Drehung findet dieſe Bewegung wirklich Statt, und das Gewicht wird durch die Schwungkraft der Kugel gehoben; bei gehöriger Umdrehungsgeſchwindigkeit hält die Schwungkraft der Kugel dem Gewichte genau das Gleichgewicht, letzteres wird alsdann gerade ſchwebend erhalten; iſt die Schwungkraft zu groß, ſo ſchlägt die Kugel bei *f* an, wird ſie zu klein, ſo fällt das Gewicht wieder herab. Nehmen wir an, daß bei einer beſtimmten Umdrehungsgeſchwindigkeit die Schwungkraft der Kugel gerade die Platte mit ihren Stäbchen ſchwebend erhalten kann, ohne daß die Kugel immer bei *f* anſchlägt, ſo wird bei doppelter Umdrehungsgeſchwindigkeit ein 4faches Gewicht ſchwebend erhalten, man hat alſo für dieſen Fall auf die untere Platte noch 3 Gewichtsplatten aufzulegen.

Der in Fig. 11 abgebildete Apparat dient, um zu erläutern, wie die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung iſt.

Fig. 11.

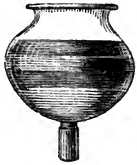


An dem unteren Ende der eiſernen Axe *b*, welche auf die Schwungmaſchine aufgeſetzt wird, ſind mehrere elaſtiſche Streifen *a a'* und *c c'* von Meſſingblech befeſtigt, die oben wieder an einer Hülſe *l* zuſammenlaufen, welche leicht an der Axe *b* hin- und hergeſchoben werden kann. Wenn der Apparat in Ruhe iſt, nehmen die Metallſtreifen vermöge ihrer Elaſticität die in unſerer Figur dargeſtellte Form an, ſobald er aber in Rotation um die Axe *b* verſetzt wird, nehmen ſie eine abgeplattete Geſtalt an, indem die Hülſe *l* niedergezogen wird.

Befeſtigt man ein Glasgefäß, wie das Fig. 12 dargeſtellte auf der Axe *E* der Schwungmaſchine, gießt man dann etwas gefärbtes Waſſer hinein, ſo ſieht man bei der Umdrehung des Gefäßes um ſeine Axe, wie das Waſſer bei langſamer Drehung am Rande etwas aufſteigt, ſich in die Mitte alſo aushöhlt, bei raſcherer Drehung aber ganz von dem

Boden wegfliegt, um in dem Bauch des Gefäßes einen Ring zu bilden.

Fig. 12.



Befindet ſich außer dem farbigen Waſſer auch noch Queckſilber in dem Gefäße, ſo wird auch dieſes in Folge der Schwungkraft in die Höhe ſteigen und einen metallglänzenden Ring an die äußerſte Stelle des Bauches des Gefäßes bilden, welcher zu beiden Seiten von dem dunkelfarbigen Ring des gefärbten Waſſers eingefaßt erſcheint. Dieſer Verſuch zeigt, daß das ſchwerere Queckſilber doch noch mit größerer Gewalt durch die Schwungkraft von der Umdrehungsaxe fortgeſchleudert wird, daß alſo die Schwungkraft mit der Maſſe wächſt.

Fig. 13.

Wir ſehen in dieſem Verſuch, wie die Schwungkraft ſtark genug werden kann, um die Wirkungen der Schwere aufzuheben; es läßt ſich dies auch noch ſo zeigen.

Wenn man ein gewöhnliches Trinkglas mit einem Geflecht von Kordel umgiebt, welches in 4 oben zuſammengebundenen Schnüren endet, wie man Fig. 13. ſieht, ſo kann man, den Knoten in der Hand haltend, das mit Waſſer gefüllte Glas in vertikaler Ebene umſchwenken, ohne daß das Waſſer ausfließt, ſelbſt wenn das Glas an der oberſten Stelle ſeiner Kreisbahn ſich befindet, wo der Boden nach oben und die Oeffnung nach unten gerichtet iſt.

Aus der Schwungkraft erklärt ſich das Spritzen naſſer Räder, die Wirkung der Schleuder u. ſ. w.

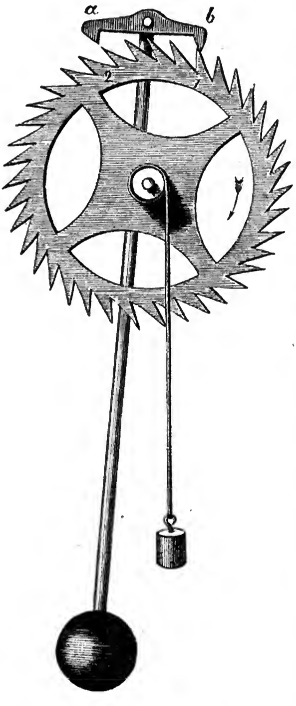
Die Pendeluhr.

Die wichtigſte Anwendung, die man vom Pendel gemacht hat, iſt die Regulirung der Uhren. In jeder Uhr muß eine beſchleunigende Kraft wirken, um die Bewegung hervorzubringen und zu erhalten. Nun aber iſt aus dem, was über beſchleunigende Kräfte geſagt wurde, klar, daß, wenn der beſchleunigenden Kraft nicht eine andere gleiche Kraft oder ein Bewegungshinderniß entgegenwirkt, die Bewegung nicht gleichförmig bleiben kann, ſondern daß ſie, wie bei einem fallenden Körper, ſchneller und ſchneller wird. Bei unſeren Wanduhren wird die beſchleunigende Kraft durch Gewichte hervorgebracht, welche an einer Schnur hängen, die um eine horizontale Axe geſchlungen iſt. Wenn das Gewicht durch ſeine Schwere herabgezogen wird, wird durch die Schnur die Axe umgedreht und dadurch das ganze Uhrwerk in Bewegung geſetzt. Die Bewegung eines fallenden Gewichtes iſt aber eine beſchleunigte, folglich würde auch

die Uhr anfangs langſam, dann ſchneller und ſchneller gehen müſſen, wenn ihr Gang nicht regulirt würde, und dieſe Regulirung wird nun durch das Pendel bewerkſtelligt.

Wie das Pendel den Gang einer Uhr reguliren könne, iſt aus Fig. 14 erſichtlich. An der Axe, um welche die Schnur mit dem Gewichte angebracht iſt, iſt ein gezahntes Rad befeſtigt. Die Axe, um welche das Pendel ſchwingt, befindet ſich über dieſem Rade, und an dieſer Pendelaxe iſt ein Anker *a b* befeſtigt, welcher, je nach der Stellung des Pendels, auf der einen oder andern Seite in die Zähne des Rades eingreift. Die Figur ſtellt das Pendel gerade in der Lage vor, wo es ſeine äußerſte Stellung links hat. Das Rad, welches durch das Gewicht in der Richtung des Pfeils gedreht wird, kann aber nicht vorangehen, weil der Zahn 1 durch den Zahn *b* des Ankers aufgehalten wird; ſobald aber das Pendel zurückgeht, geht *b* in die Höhe, der Zahn 1 wird nun vorbeigelaſſen, die Bewegung des Rades wird aber doch alsbald wieder gehemmt, weil nun auf der andern Seite der Zahn *a* des Ankers niedergeht und an dieſen dann der Zahn 2 des Rades anſtößt, ſo kann alſo das Rad bei jedem Hingange um einen, und bei jedem Hergange abermals um einen Zahn weiter gehen, die Bewegung des Rades wird alſo durch die Schwingungen des Pendels regulirt.

Fig. 14.



Eine ſolche Vorrichtung nennt man eine *Hemmung* oder ein *Echappement*.

Bei Taſchenuhren iſt das Gewicht durch eine geſpannte Stahlfeder, das Pendel aber durch die Unruhe, d. h. durch eine feine, vermöge ihrer Elaſticität um ihre Gleichgewichtslage ſchwingende Feder erſetzt.

Wirkung des Luftdrucks auf den menſchlichen Körper.

Zu Seite 118.

Der menſchliche Körper iſt ſo gut wie jeder andere dem Drucke der Atmoſphäre ausgeſetzt, und da die Oberfläche eines ausgewachſenen Menſchen weit mehr als ein Quadratmeter beträgt, ſo iſt der Totaldruck, der von allen Seiten her gleichförmig vertheilt gegen den Körper wirkt, allerdings ſehr bedeutend, er beträgt 30- bis 40tauſend Pfund.

Das ſcheint für den erſten Anblick allerdings unglaublich, und es giebt viele, ſelbſt gebildete und geiſtreiche Leute, welche eine ſolche Behauptung für baaren Unſinn halten, welche die ganze Lehre vom Luftdrucke als falſch verwerfen, weil ſie ſolchen, ihrer Anſicht nach ganz abſurden Folgerungen führt. Drieberg, welcher erſt kürzlich ein Werkchen gegen den Luftdruck ſchrieb, ſagt in ſeiner Vorrede: »Nach dem weiſen Rathſchluſſe der Phyſikbefliſſenen müſſen wir armen Creaturen uns bekanntlich mit einer Luftlaſt von 30- bis 40tauſend Pfund herumſchleppen, und ſelbſt die Elßler, wenn ſie auf der großen Zehe ſteht, trägt ihre 30tauſend Pfündchen u. ſ. w.

Eine ſolche Ausdrucksweiſe zeigt ſchon ein Mißverſtehen der Lehre vom Luftdrucke, denn da er ja gleichmäßig von allen Seiten, alſo von oben und unten, von vorn und hinten, von der rechten und linken Seite wirkt, ſo kann hier weder von einem »Schleppen«, noch von einem »Tragen« die Rede ſeyn, ſolche Ausdrücke ſind nur auf einen einſeitigen Druck anwendbar.

Aber man könnte einwenden, wenn ein ſo ſtarker Druck auch ganz gleichförmig und von allen Seiten her gegen den Körper wirkt, ſo müßte er ja den Körper in ſich ſelbſt zuſammenpreſſen, er müßte ihn zermalmen!

Was ſoll aber zermalmt werden? Das Knochengerüſt? es könnte noch einen weit ſtärkern Druck aushalten; die mit Flüſſigkeiten und Luft gefüllten Gefäße und Höhlungen des Körpers? Die im Körper befindliche Luft iſt von gleicher Dichtigkeit mit der äußeren, ſie kann alſo durch den Luftdruck nicht weiter comprimirt werden; daß aber die im Körper enthaltenen Flüſſigkeiten nicht zerdrückt werden können, verſteht ſich von ſelbſt.

Es bleibt demnach nur noch etwa der Zweifel zu heben übrig, ob nicht die zarten Häutchen und Gewebe, welche die Hüllen der einzelnen Gefäßchen bilden, durch einen ſo ſtarken Druck Noth leiden müßten. Von einem Zerreißen der zarten Gewebe kann aber keine Rede ſeyn, weil der Druck gleichmäßig von beiden Seiten wirkt; um aber die Häutchen etwa

zu zerquetſchen, iſt der Druck nicht ſtark genug. Da es ſich hier nur um kleine Gefäßchen handelt, ſo kommt auch nur der Druck in Betracht, der auf die kleine Oberfläche derſelben wirkt; aus der obigen Tabelle aber kann man entnehmen, daß der Luftdruck auf eine 1 Quadr.-Centim. (ungefähr 20 Quadratlinien) große Oberfläche nur 1 Kilogr. (2 Pfund), auf 1 Quadr.-Millim. (ungefähr $^2/_{10}$ Quadratlinien) aber nur 1 Centigr. (ungef. $^3/_5$ Lth) beträgt.

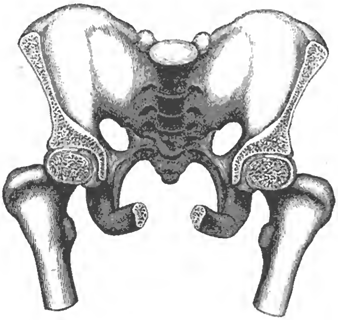
Wenn man die Sache auf dieſe Weiſe betrachtet, ſo fällt alles Auffallende und Unbegreifliche weg. Die Lehre vom Luftdrucke, der auf den menſchlichen Körper wirkt, erhält nur dadurch etwas Paradoxes, daß man durch die Summation der Preſſungen, welche auf die einzelnen Theilchen wirken, enorme Zahlen erhält, während doch jedes einzelne Theilchen für ſich mit dem Luftdrucke im Gleichgewichte ſteht, und nicht der Totaldruck einſeitig gegen eine Stelle des Körpers wirkt.

Wenn man den Luftdruck von irgend einer Stelle des Körpers entweder mit Hülfe eines Schröpfkopfes oder einer Luftpumpe wegnimmt, ſo wird der Inhalt der Gefäßchen ein Beſtreben geltend machen, ſich auszudehnen.

Wie wichtig der Luftdruck für die Oekonomie der Kräfte des menſchlichen Körpers iſt, haben die claſſiſchen Unterſuchungen der Gebrüder Weber gezeigt.

Betrachtet man das Knochengerüſte des menſchlichen Körpers, ſo findet man an jeder Seite des Beckens eine ſpiegelglatte, mit einer ſchlüpferigen Flüſſigkeit benetzte Vertiefung, die Pfanne, in welche der kugelförmige Kopf des Schenkelknochens genau hineinpaßt, wie man dies Fig. 15 deutlich ſehen kann, welche das Becken mit den Schenkelknochen darſtellt.

Fig. 15.



Der vordere Theil des Beckens und der beiden Schenkelköpfe iſt durch einen ſenkrechten Schnitt weggenommen, damit man beſſer ſehen kann, wie die Schenkelköpfe in den Pfannen ſitzen; da ſich nun der Schenkelkopf in der Pfanne nach allen Seiten leicht drehen läßt, ſo begreift man, daß das Bein nach allen Seiten hin beweglich iſt.

Das ganze Gelenk iſt durch eine Kapſelmembran eingehüllt, welche,

das Becken mit dem Schenkelkopf verbindend, an dem knöchernen Pfannenrande und am Halſe des Schenkelkopfs angewachſen iſt.

Wenn man auf einem Beine ſteht und das andere nur ſo viel krümmt, daß es hängt, ohne den Boden zu berühren, ſo kann man mit ungemein geringer Muskelanſtrengung das hängende Bein hin und her ſchwingen laſſen. Während das Bein ſo ſchwingt, ſind die Muskeln, welche das Becken mit dem Schenkelbeine verbinden, ganz ſchlaff, und daraus ſchon geht hervor, daß dieſe Muskeln es nicht ſeyn können, welche das ſchwebende Bein tragen. Die Gebrüder Weber haben dies auch durch den Verſuch nachgewieſen, indem ſie an einem Leichname alle Muskeln durchſchnitten, welche den Schenkel mit dem Becken verbinden. Das frei ſchwebende Bein fiel nicht herab, wie es der Fall geweſen wäre, wenn es im Leben durch die Muskeln getragen würde.

Auch die Kapſelmembran wurde durchſchnitten, und das Bein fiel nicht herab.

Der Schenkelkopf wird in der luftdicht ſchließenden Pfanne durch den Druck der atmoſphäriſchen Luft zurückgehalten, oder das Gewicht des Beines wird von dem Drucke, den die atmoſphäriſche Luft auf daſſelbe von unten nach oben ausübt, äquilibrirt, es bedarf alſo keinerlei Kraftanſtrengung, um während des Gehens das eben nicht auf dem Boden ſtehende Bein zu tragen, obgleich das Gewicht deſſelben nicht unbedeutend iſt.

Die Richtigkeit dieſes Satzes wurde noch durch folgenden Verſuch beſtätigt. Es wurde durch das Becken hindurch mitten in die Pfanne ein kleines Loch gebohrt; das Bein fiel in demſelben Augenblicke herab, in welchem die Spitze des Bohrers die Pfanne eben durchbrochen hatte und den Schenkelkopf noch nicht berührte. Als der Schenkelkopf nun wieder in die Pfanne hineingeſchoben wurde, ſo daß ſeine Kugelfläche wieder genau mit der Kugelfläche der Pfanne in Berührung kam, und man dann das Loch im Becken mit dem Finger zuhielt, wurde das Bein auch wieder durch den Luftdruck getragen; es fiel aber ſogleich wieder herab, ſobald man den Finger wieder von dem Loche wegnahm, ſo daß die Luft von oben eindringen konnte.

Die Arme werden in derſelben Weiſe durch den Luftdruck getragen wie die Beine.

Alle Reiſenden, welche ſehr hohe Gebirge erſtiegen haben, erzählen, daß man auf bedeutenden Höhen eine auffallende Müdigkeit verſpüre, welche den Wanderer nöthigt, oft ſich zu ſetzen und auszuruhen. Dieſe Müdigkeit erklärt ſich nun durch die bedeutende Verminderung des Luftdrucks.

Die atmoſphäriſche Eiſenbahn.

Eine höchſt ſinnreiche Anwendung des Drucks der atmoſphäriſchen Luft gegen einen luftverdünnten Raum, welche gegenwärtig die allgemeine Aufmerkſamkeit auf ſich zieht, iſt die ſogenannte **atmoſphäriſche Eiſenbahn**.

In der Mitte zwiſchen den Schienen der Bahn läuft nämlich ihrer ganzen Länge nach eine gußeiſerne Röhre her. In dieſer Röhre befindet ſich ein luftdicht ſchließender Kolben, ſo daß, wenn auf der einen Seite deſſelben die Luft aus der Röhre ausgepumpt wird, der auf der andern Seite dieſes Kolbens wirkende Druck der Luft ihn forttreibt.

Das Auspumpen der Luft aus der Röhre geſchieht durch eine ſtehende Dampfmaſchine.

Der Kolben, welcher durch den Druck der atmoſphäriſchen Luft fortgetrieben wird, zieht nun die Wagen nach ſich.

Dies wird dadurch möglich, daß der Kolben mit dem erſten Wagen durch einen Verbindungsarm zuſammenhängt. Um dieſen Verbindungsarm durchzulaſſen, iſt aber die Treibröhre oben aufgeſchlitzt und der Schlitz durch Lederklappen luftdicht verſchloſſen. Dieſe Klappen werden hinter dem Kolben geöffnet, um den Verbindungsarm durchzulaſſen, nachdem dieſer aber paſſirt iſt, werden ſie wieder geſchloſſen.

Die Figuren 16, 17 und 18 werden wohl das Princip dieſer Conſtruction anſchaulich machen. Fig. 16 ſtellt einen Querdurchſchnitt der Bahn mit Treibröhre vor; man ſieht, wie die Röhre in der Mitte zwiſchen den Schienen liegt, man ſieht, wie ſie oben offen iſt. Die Lederklappe, welche den Schlitz bedecken ſoll, iſt in unſerer Zeichnung gerade in dem Momente dargeſtellt, wo ſie gehoben iſt, um den Verbindungsarm *d* durchzulaſſen; ſie iſt oben und unten mit Eiſen beſchlagen, damit ſie von ſelbſt niederfällt, wenn ſie nicht in die Höhe gehalten wird.

Die gußeiſerne Treibröhre hat 1′ 4″ Durchmeſſer, jedes Stück derſelben iſt 7 Fuß lang; ſie iſt innen mit einer ½ Linie dicken Schicht von Wachs und Talg überzogen, um die Unebenheiten des Guſſes auszugleichen und die Bewegung des Kolbens zu erleichtern. Fig. 17 ſtellt den Querdurchſchnitt der Röhre dar, wie der Schlitz derſelben durch die Klappe bedeckt iſt.

Die Einrichtung des Kolbens und wie er mit dem Wagen zuſammenhängt, iſt aus dem Längendurchſchnitte Fig. 18. zu erſehen. An einem gußeiſernen Cylinder *k* ſind zwei Lederſtulpen befeſtigt, welche, wenn auf der vorderen Seite des Kolbens ein verdünnter Raum erzeugt wird, durch den auf der andern Seite wirkenden Luftdruck feſt gegen die Cylinderwände angepreßt werden, ſo daß auf dieſe Weiſe der Kolben ſtets luftdicht ſchließt.

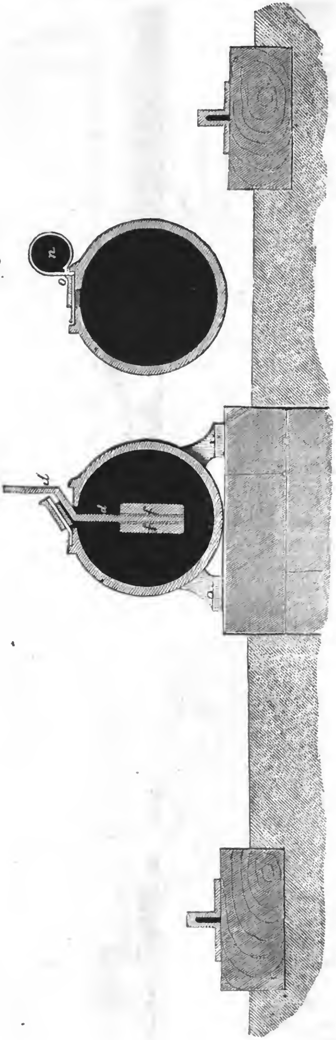


Fig. 17.

Fig. 16.

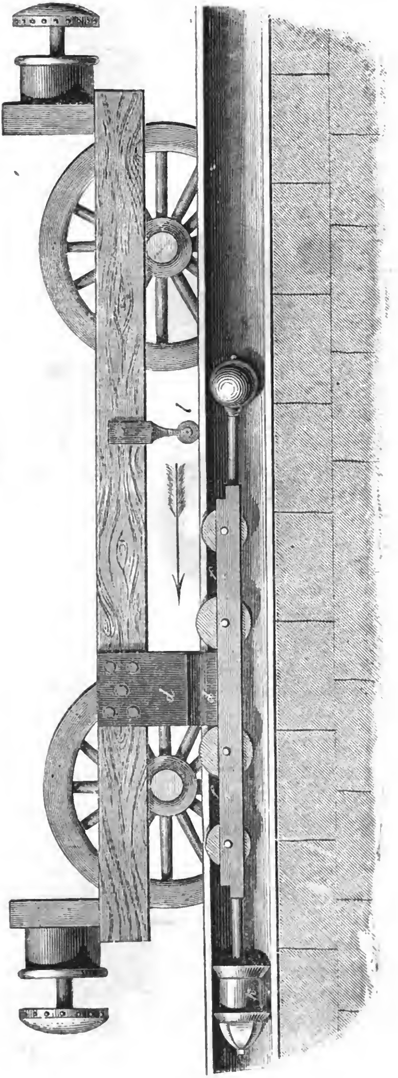


Fig. 18.

An dem eigentlichen Kolben befindet ſich nun eine Stange mit zwei eiſernen Schienen *f*, von denen in unſerer Figur natürlich nur die vordere ſichtbar iſt. Zwiſchen dieſen Schienen ſind vier Rollen und der Verbindungsarm *d* befeſtigt. Der Durchmeſſer der beiden äußeren Rollen iſt kleiner als der Durchmeſſer der mittleren. Die erſte Rolle hebt die Klappe etwas in die Höhe, die zweite hebt ſie weiter, ſo daß nun der Verbindungsarm durchgehen kann. Nachdem er paſſirt iſt, ſenkt ſich die Klappe auf die dritte, dann auf die vierte Rolle, um dann wieder den Schlitz völlig zu verdecken. Eine nachfolgende Rolle *l*, welche am Wagen befeſtigt iſt, drückt dann noch die Klappe von außen feſt auf den Schlitz.

Wenn die Klappe aufliegt, ſo bildet ſich bei *o*, Fig. 17, eine Rinne, in welcher ſich eine Miſchung von Wachs und Talg befindet; eine durch Kohlen erwärmte an dem Wagen hinter der Rolle *l* befeſtigte Röhre *n*, an welcher ſich eine in die Rinne herabreichende Hervorragung befindet, bewirkt eine Schmelzung dieſer Maſſe, wodurch der vollkommne Verſchluß wieder hergeſtellt und die Treibröhre gleich wieder für die nächſte Fahrt vorbereitet iſt. Dieſe erwärmte Röhre iſt in Fig. 17 im Durchſchnitt angedeutet, in Fig. 18 aber weggelaſſen.

Die erſte Idee der atmoſphäriſchen Eiſenbahn rührt von Pinkus her, deſſen ſchon im Jahre 1834 gemachten Verſuche jedoch die gehofften Reſultate nicht gaben. Einige Jahre ſpäter griffen Clegg und Samuda die Sache wieder auf. Von ihnen rührt die eben angedeutete Conſtruction her; ſie haben ſchon einige Bahnen nach dieſem Syſteme ausgeführt und ſeine praktiſche Anwendbarkeit dargethan.

Ueber die Luftverdünnung in der Treibröhre wurden auf der Bahn von Kingstown nach Dalbey, welche eine Fortſetzung der gewöhnlichen Eiſenbahn von Dublin nach Kingstown iſt, Verſuche angeſtellt, welche ergaben, daß in einem Glasrohre, deſſen oberes Ende mit der Treibröhre communicirt, das Queckſilber bis zu einer Höhe von 25 Zoll, alſo nur 3 Zoll weniger gehoben werden kann, als der mittlere Barometerſtand beträgt. Es ergab ſich aus dieſer Höhe der Queckſilberſäule, daß der Kolben auf der einen Seite nur einen Druck von 2½ Pfund auf den Quadratzoll auszuhalten hatte, während auf der andern Seite die atmoſphäriſche Luft mit einem Drucke von 15 Pfund auf den Quadratzoll drückt; die Triebkraft betrug alſo 12½ Pfund auf den Quadratzoll, und da die Oberfläche des Kolbens 176 Quadratzoll beträgt, ſo iſt die ganze Kraft, mit welcher der Kolben fortgedrückt wird, 2200 Pfund.

Im Allgemeinen hat man aber dieſe Kraft zum Fahren nicht nöthig, ſondern es reicht ſchon hin, wenn die Luft ſo weit verdünnt wird, daß die im Barometerrohre aufgeſaugte Queckſilberſäule 15 Zoll beträgt, welche eine bewegende Kraft von mehr als 1300 Pfund liefert.

Die weſentlichſten Vortheile der atmoſphäriſchen Eiſenbahn beſtehen in einer größeren Sicherheit und der Möglichkeit weit bedeutendere Steigungen zu überwinden, als dies bei den gewöhnlichen Eiſenbahnen irgend geſchehen kann.

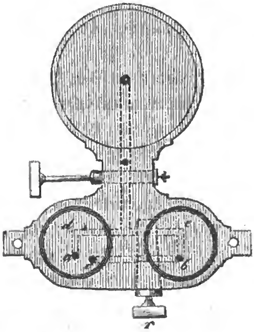
Bis jetzt ſind atmoſphäriſche Eiſenbahnen nur auf kürzere Strecken ausgeführt, ob ſie ſich auch auf größere Entfernungen mit Vortheil anwenden laſſen, ob ſie in pecuniärer Hinſicht vortheilhafter ſind als gewöhnliche, darüber läßt ſich ſchwer a priori entſcheiden, man muß es der Erfahrung anheimſtellen.

Der Babinet'ſche und der Graßmann'ſche Hahn.

Die Beſchreibung des Babinetſchen Hahnes auf S. 134 und 135 iſt nicht ganz klar; das Folgende wird die Sache deutlicher machen.

Babinet hat eine ſehr ſinnreiche Verbeſſerung erdacht, vermittelſt welcher man im Stande iſt, die Luftverdünnung noch weit über dieſe Gränze hinauszutreiben. Von dem Teller kommt ein Kanal, welcher ſich in zwei Arme theilt, von welchen der eine bei *a* in den Stiefel links, der andere bei *b* in den Stiefel rechts mündet. Dieſe Kanäle gehören zu dem gewöhnlichen Spiele der Maſchine; nun iſt aber bei der Babinet'ſchen Einrichtung noch ein dritter Kanal vorhanden, welcher in den Cylinder rechts ebenfalls bei *b*, in den Cylinder links aber bei *c* mündet; dieſer Kanal verbindet alſo die beiden Cylinder mit einander.

Fig. 19.



Der Hahn *r* geht nun durch den Kanal *bc* und durch *de* hindurch; er iſt nach zwei Richtungen durchbohrt, welche rechtwinklig auf einander ſtehen; die eine der Oeffnungen im Hahn paßt auf den Kanal *de*, die andere auf *bc*; je nachdem nun der Hahn ſteht, iſt der Kanal *de* oder *bc* unterbrochen.

In der Stellung, welche Fig. 20 zeigt, iſt der Kanal *de* offen, *bc* aber unterbrochen. Dies iſt die Stellung des Hahns beim gewöhnlichen Arbeiten der Maſchine.

Fig. 20.

Hat die Verdünnung auf dieſe Weiſe ihre Grenze erreicht, ſo wird der Hahn durch eine Viertelumdrehung in die Stellung Fig. 19 gebracht; nun iſt die Cummunication zwiſchen dem Stiefel rechts und dem Recipienten ganz abgeſchnitten, dagegen ſtehen nun die beiden Cylinder in Verbindung.

Wenn der Kolben im linken Cylinder aufſteigt, ſo verbreitet ſich die Luft aus dem Recipienten in dieſen Cylinder; ſobald der Kolben niederzugehen beginnt, wird *a* verſchloſſen; wäre nun keine Communication mit dem andern Cylinder, ſo würde die Luft unter dem Kolben nach und nach verdichtet, ſie würde endlich das Kolbenventil heben und ſomit Luft von der Dichtigkeit der Atmoſphäre im ſchädlichen Raume bleiben; ſtatt deſſen aber geht nun die Luft aus dem Cylinder links in den rechts über, denn wenn der Kolben im linken Cylinder niedergeht, ſo ſteigt er im rechten; auf dieſe Weiſe kann der Kolben im linken Cylinder unten ankommen, ohne daß ſein Kolbenventil gehoben wird, es befindet ſich unter dieſem Kolben im ſchädlichen Raume nur ſehr verdünnte Luft.

Sobald der Kolben links wieder zu ſteigen, der rechts niederzugehen beginnt, wird *b* verſchloſſen, die vorher in den Cylinder rechts getriebene Luft muß nun durch ſein Kolbenventil entweichen; da ſich aber nun im ſchädlichen Raume des andern Cylinders, welcher allein mit dem Recipienten in Verbindung kommt, nur verdünnte Luft befindet, ſo übt nun der ſchädliche Raum nicht mehr die nachtheilige Wirkung aus, wie vorher, da er noch Luft von der Dichtigkeit der Atmoſphäre enthält.

Der Hahn bleibt nun in ſeiner zweiten Stellung ſtehen; durch das Steigen der Kolben im linken Cylinder wird die Luft aus den Recipienten geſaugt, durch ſeinen Niedergang wird ſie in den andern Cylinder getrieben.

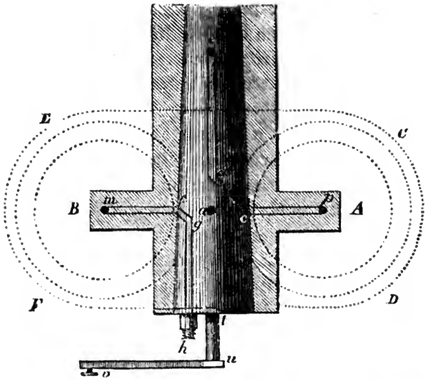
Schon im Jahre 1819 hat Profeſſor Graßmann einen Hahn erdacht und im 65. Bande von Gilbert's Annalen beſchrieben, welcher denſelben Zweck auf eine ſehr einfache Weiſe erfüllt. Nach dieſem Principe ſind in mehreren der ausgezeichnetſten Werkſtätten von Berlin viele treffliche Luftpumpen conſtruirt worden; trotzdem aber findet man dieſe Einrichtung außer dem erwähnten Bande von Gilbert's Annalen nur noch in der erſten Auflage von Mitſcherlich's Lehrbuche der Chemie beſchrieben.

Die Einrichtung des Hahns iſt aus Fig. 21 (a. f. S.) zu erſehen. *CDEF* iſt die Bodenplatte, auf welcher die Stiefel aufgeſetzt ſind. Vom Boden des Stiefels *A* geht ein Kanal zuerſt vertikal herunter, dann aber horizontal von *p* nach *c*, wo er an den Hahn ſtößt; eben ſo iſt es auf der andern Seite; vom Boden des Stiefels *B* geht ein Kanal zuerſt vertikal herunter, dann horizontal von *m* nach *f*. Der Hahn ſelbſt iſt dreifach durchbohrt. Ein Kanal im Hahn geht bei der Stellung, welche die Figur darſtellt, von *e* vertikal herunter, dann in der Richtung der Axe horizontal fort bis *d*, und dann von *d* bis *c*; ein zweiter Kanal führt von *f* nach *g* und von *g* nach *h*, ein dritter endlich erſcheint in unſerer Figur bei *a* ganz verkürzt, er geht in der Mitte zwiſchen *c* und *f*

rechtwinkelig zu der Ebene der Kanäle *edc* und *fgh* durch den Hahn durch.

Unſere Figur zeigt die Stellung des Hahns, wie ſie ſeyn muß, wenn der Kolben im Stiefel *A* im Aufſteigen iſt. Die Luft geht aus dem Re=

Fig. 21.



cipienten über *e*, *d*, *c* und *p* in den Cylinder *A*, auf der andern Seite wird durch den niedergehenden Kolben die Luft aus dem Cylinder *B* durch den Kanal *mfgh* ausgetrieben.

Denken wir uns zuerſt den Kanal *a* ganz weg. Wenn man, nachdem der Kolben in *B* unten, der in *A* aber oben angekommen iſt, den Hahn dreht, und zwar ſo, daß der Handgriff bei *v*, welcher jetzt nach der linken Seite ſteht nach der rechten zu liegen kommt, ſo wird der Kanal *hgf* im Hahn ſo zu liegen kommen, daß er an *pc* ſtößt, der Kanal *edc* aber wird an *mf* ſtoßen, ſo daß, wenn nun der Kolben in *B* auf=, der in *A* aber niedergeht, die Luft aus dem Recipienten nach *B* gelangt, die in *A* ent=haltene aber ausgetrieben wird.

Wenn bei der Stellung des Hahns in unſerer Figur der Kolben in *B* unten angekommen iſt, ſo befindet ſich im Kanal *mf* und in den unver=meidlichen Zwiſchenräumen unter dem Kolben noch Luft von der Dichtig=keit der Atmoſphäre, und wenn man den Hahn dann um 180° dreht, ſo verbreitet ſich dieſe Luft in der ſchon verdünnten des Recipienten, ſo daß durch die im ſchädlichen Raume zurückbleibende Luft eine ſehr bedeutende Verdünnung unmöglich gemacht wird.

Wenn nun aber der Kanal *a* vorhanden iſt, ſo wird, wenn man den Hahn aus der Stellung unſerer Figur herausdreht, nach ¼ Umdrehung

dieſer Kanal *a* horizontal ſtehend von *f* nach *c* gehen, ſo daß nun die beiden Stiefel mit einander in Verbindung ſtehen; die in *mf* abgeſperrte Luft wird ſich alſo nun durch *a* in den Cylinder *A* verbreiten, welcher verdünnte Luft enthält, ſo daß nun im ſchädlichen Raume *mf* nicht Luft von der Dichtigkeit der Atmoſphäre, ſondern bedeutend verdünntere Luft zurückbleibt.

Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichts von Flüſſigkeiten.

Mohr beſchreibt in ſeinem »Lehrbuch der pharmaceutiſchen Technik,« in welchem ſich, nicht allein für den Pharmaceuten, ſondern auch für den arbeitenden Phyſiker und Chemiker ſehr viel Wichtiges findet, folgende neue Methode das ſpecifiſche Gewicht von Flüſſigkeiten zu beſtimmen.

Man theile die eine Hälfte des Balkens einer guten Receptirwage von etwa $9\frac{1}{2}$ Zoll (250^{mm}) Länge von der mittleren Schneide bis zu derjenigen, auf welcher die eine Wagſchale hängt, in 10 gleiche Theile. Die Theilſtriche werden an der oberen geraden Kante des Wagbalkens mit einer zarten Feile eingeriſſen, und von der Mitte anfangend mit den Zahlen 1 bis 9 bezeichnet, wie dies Fig. 22 (a. f. S.) angedeutet iſt.

Man zieht nun eine kleine Glasröhre, wie ſie Fig. 23 (a. f. S.) in natürlicher Größe dargeſtellt iſt, in eine lange Spitze aus, füllt ſo viel Queckſilber oder feine Schrote hinein, daß ſie in einer Flüſſigkeit vom ſpecifiſchen Gewicht 2 noch unterſinken muß, ſchmilzt die Spitze zu, und biegt ſie zu einem Ohre um. In dieſes Ohr ſchlingt man einen feinen Platindraht von 5 Zoll (130^{mm}) Länge, an deſſen anderem Ende man ein leichtes Meſſingringelchen befeſtigt. Mit dieſem Ringe wird das Senkgläschen ſtatt der einen Wagſchale am getheilten Arm der Wage angehängt, wie man Fig. 22 ſieht. An dem anderen Arme der Wage hängt eine leichte Schale mit einem kleinen Döschen, in welches ſo viel Gegengewicht geworfen wird, daß dadurch die Senkröhre genau äquilibrirt wird.

Nachdem nun ein Champagnerglas mit deſtillirtem Waſſer von der richtigen Temperatur untergeſtellt worden iſt, wird ein in ſtumpfem Winkel gebogenes Stück Meſſingdraht an den Haken gehängt, an welchem das Senkgläschen aufgehangen iſt. Mit Hülfe der Kneifzange und zuletzt der Feile macht man dieſes Drahtſtück genau ſo ſchwer, daß das Gleichgewicht wieder hergeſtellt wird, welches durch das Eintauchen des Gläschens in das Waſſer geſtört worden war. Der genau abnormirte Meſſingdraht hat nun genau das Gewicht des durch das Senkgläschen verdrängten Waſſers.

Der Meſſingdraht wird nun in einem etwas ſpitzeren Winkel als vorher gebogen, und oben in ſeinem Buge mit einem glatten Hammer platt

Fig. 22.

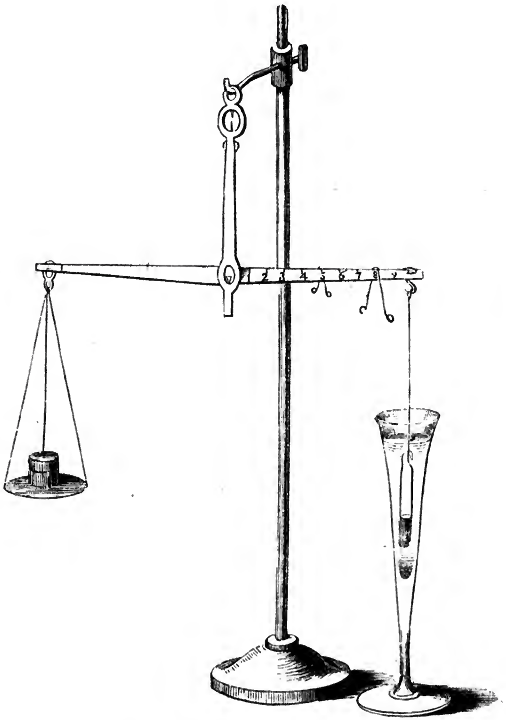


Fig. 23.

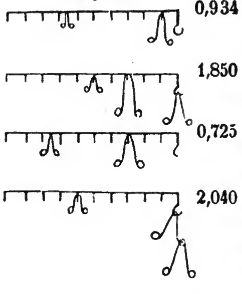
und ſcharf geſchlagen, damit er mit Schärfe in die Einſchnitte des Wagebalkens einſpielt. Solcher Drähte werden zwei, und alsdann noch ein dritter angefertigt, deſſen Gewicht genau $^1/_{10}$ von dem Gewichte eines der größern Drähte beträgt.

Der Gebrauch dieſer Wage iſt nun folgender. Man füllt das Champagnerglas oder die Glasröhre Fig 24, bis zu einem beſtimmten mit dem Diamantſplitter markirten Striche an, läßt das Gläschen eintauchen und

ſchiebt den dicken Draht ſo lange auf dem Balken mit einer Pincette fort, bis das Gleichgewicht eingetreten iſt. Wenn das ſpecifiſche Gewicht kleiner als 1 iſt, ſo findet man auf dem Balken eine Stelle, die dieſer Bedingung entſpricht. Geſetzt aber, dieſe Stelle läge zwiſchen zwei Zahlen, ſo müßte man die Entfernung auf Augenmaß abſchätzen. In dieſem Falle hängt man den ſchweren Draht auf die zunächſt kleinere Zahl, und ſtellt nun den kleinen fehlenden Reſt des Gleichgewichts mit dem kleinen Drahte her. Trifft dieſer Punkt zwiſchen zwei Zahlen, ſo ſchätzt man dieſe Entfernung nach Augenmaß auf Zehntel. Die Zahl, wo der große Draht hängt, iſt die erſte Decimalſtelle, die, wo der kleine Draht hängt, die zweite, und wenn dieſer zwiſchen zwei Zahlen hängt, ſo iſt die nächſte Zahl nach der Mitte der Wage die zweite Decimale, und die in Zehnteln geſchätzte Entfernung von dieſer Zahl an die dritte Decimalſtelle. In Fig. 22 zeigen die beiden Drähte das ſpecifiſche Gewicht 0,850 an. In Fig. 25 zeigen die nebenſtehenden Zahlen die ſpecifiſchen Gewichte an, die auf dem Wagebalken bei der jedesmaligen Lage der Drähte ſich ergaben. Wenn das ſpecifiſche Gewicht größer als 1 und kleiner als 2 iſt, ſo hängt einer der ſchweren Drähte auf der Zahl 10, d. h. an dem Haken der Schneide, worauf das Senkgläschen hängt. Der zweite dicke Draht giebt, wie oben, die erſte Decimale an, der kleine die zweite und dritte. Wegen der Dünnheit des Platindrahtes zum Aufhängen iſt dieſe Beſtimmungsmethode ungemein ſcharf. Sie geht bei guten Wagen ganz leicht auf die dritte Decimalſtelle, im ganzen auf die vierte Stelle.

Fig. 24.

Fig. 25.



Dieſe Wägungen gehen ungemein raſch vor ſich, und werden ohne alle Berechnung direct abgeleſen. In einem unten etwas beilaufenden Champagnerglaſe bedarf man nur 6 Drachmen Waſſer, um den Senkkörper frei ſpielen zu laſſen. Ein gleich großes Volum jeder anderen Flüſſigkeit genügt natürlich auch.

Mohr hat dieſen Apparat noch weiter vervollkommnet, ſo daß er das ſpecifiſche Gewicht bis auf die 4te Decimalſtelle genau angeben kann.

Er wendet dazu eine ungleicharmige Wage an; der längere Arm iſt ungefähr 300^{m}, der kürzere etwa 100^{mm} lang; am Ende des längeren, der in 100 gleiche Theile getheilt iſt, wird das Senkgläschen angehängt. Der kurze Arm endigt mit einer Schraube, auf welcher ein Laufgewicht von Meſſing ſo geſtellt werden kann, daß es das Senkglas gerade äquilibrirt.

Der Gebrauch dieſes Apparates iſt nach dem Vorhergehenden von ſelbſt klar.

Vertikale Waſſerräder.

Wenn Waſſer fortwährend von einem höher gelegenen zu einem tiefer gelegenen Orte herabfließt, ſo kann man ein ſolches Waſſergefälle als eine bewegende Kraft anwenden.

Wenn während der Zeiteinheit, alſo während einer Sekunde, eine Waſſermaſſe, deren Gewicht M iſt, von einer Höhe h herabfließt oder fällt, ſo iſt Mh die Bewegungsquantität oder das mechaniſche Moment dieſer Waſſermaſſe. Auf welche Weiſe man nun auch die Bewegung des Waſſers auf einen andern Körper übertragen mag, ſo kann doch der Effect das mechaniſche Moment des Gefälles niemals übertreffen, d. h. man kann durch die Gefälle höchſtens eine der in der Zeiteinheit herabfließenden Waſſermaſſe gleiche Laſt auf gleiche Höhe heben, oder irgend eine andere dieſe gleiche Wirkung hervorbringen.

Wenn z. B. von einer Höhe von 24 Fuß in jeder Sekunde eine Waſſermaſſe von 800 Pfd. herabfällt, ſo iſt das abſolute Maximum des Effectes dieſes Gefälles 19200, d. h. es könnte durch dieſes Gefälle, wenn alle Kraft vollſtändig zur Wirkung käme, wenn nichts durch Reibung und andere Widerſtände verloren ginge, eine Wirkung hervorgebracht werden, welche der Hebung einer Laſt von 19200 Pfd. in einer Sekunde 1 Fuß hoch gleichzuſetzen iſt.

Nimmt man nun an, daß ein Pferd, mit mittlerer Kraft und mittlerer Geſchwindigkeit arbeitend, in einer Sekunde eine Laſt von 100 Pfund 4 Fuß hoch heben kann, ſo wäre das abſolute Maximum des Effectes jenes Gefälles 48 Pferdekräften gleichzuſetzen.

Wir wollen im Folgenden das abſolute Maximum des Effectes eines Gefälles mit E bezeichnen.

Um das mechaniſche Moment eines Waſſergefälles zu benutzen, wendet man meiſtens Waſſerräder, d. h. Räder an, an deren Umfange das Waſſer durch Druck oder Stoß wirkt.

Die gewöhnlichen Waſſerräder drehen ſich in vertikaler Ebene um eine

horizontale Axe. Man unterſcheidet drei Hauptarten vertikaler Waſſerräder, unterſchlächtige, oberſchlächtige und mittelſchlächtige.

Bei den unterſchlächtigen Rädern ſtehen die Schaufeln rechtwinklig auf dem Umfange des Rades. Die unterſten Schaufeln ſind in das Waſſer eingetaucht, welches mit einer Geſchwindigkeit fortfließt, welche von der Höhe des Gefälles abhängt.

Das fließende Waſſer ſetzt nun auch das Rad in Bewegung und theilt ihm eine Geſchwindigkeit mit, welche nach Umſtänden bald größer, bald kleiner ſeyn wird.

Wenn der Stoß des Waſſers dem Rade eine Geſchwindigkeit mittheilen ſoll, welche derjenigen gleich iſt, mit welcher das Waſſer fließen würde, wenn das Rad gar nicht da wäre, ſo darf das Rad dieſer Bewegung gar keinen Widerſtand entgegenſetzen, es darf alſo gar nicht belaſtet ſeyn, mithin kann es in dieſem Falle gar keine mechaniſche Wirkung hervorbringen, der Effect iſt gleich Null.

Andererſeits könnte man das Rad ſo ſtark durch ein Gegengewicht belaſten, daß der Stoß des Waſſers es gar nicht in Bewegung ſetzt, daß das Waſſer des Gefälles nur einen ſtatiſchen Druck ausübt, welcher jenem das Gleichgewicht hält. In dieſem Falle iſt der Effect abermals Null. Aus dieſer Betrachtung geht hervor, daß, wenn das Rad eine Arbeit vollbringen ſoll, es mit einer Geſchwindigkeit ſich bewegen muß, welche geringer iſt, als die des frei fließenden Waſſers; Theorie und Erfahrung zeigen, daß man die vortheilhafteſte Wirkung erhält, wenn die Geſchwindigkeit des Rades halb ſo groß iſt als die Geſchwindigkeit, welche der Höhe des Gefälles entſpricht.

Daraus geht hervor, daß bei einem gewöhnlichen unterſchlächtigen Rade nur die Hälfte des mechaniſchen Momentes des Gefälles zur Wirkung kommt, indem das Waſſer noch mit der Hälfte der Geſchwindigkeit abfließt, mit welcher es vor dem Rade ankam; der Effect eines ſolchen Rades kann alſo den Werth $\frac{1}{2}E$ nie überſteigen.

Allein ſelbſt dieſe Wirkung kann in der Praxis nicht erreicht werden, weil immer ein Theil der Kraft durch Adhäſion des Waſſers an den Wänden des Gerinnes, durch Reibungswiderſtände u. ſ. w. verloren geht. Sorgfältig angeſtellte Verſuche ergaben für unterſchlächtige Räder, welche ſich in einem Gerinne bewegen, ſo daß kein ſeitliches Abfließen des Waſſers ſtattfinden kann, den Werth

$$e = 0{,}3\ E$$

Bei freihängenden Rädern aber, wie man ſie an Schiffsmühlen anbringt, wo das Waſſer ſeitlich abfließen kann, iſt der Effect noch weit mehr vom abſoluten Maximum entfernt.

Die unterſchlächtigen Räder werden da angewendet, wo man über ein

Gefälle von ziemlich bedeutender Waſſermenge, aber geringer Fallhöhe zu disponiren hat.

Weil durch die eben betrachteten unterſchlächtigen Räder bei dem rechtwinkligen Stoße des Waſſers gegen die Schaufeln das mechaniſche Moment des Gefälles ſo ſehr ſchlecht benutzt wird, hat Poncelet ein unterſchlächtiges Rad mit krummen Schaufeln conſtruirt, deſſen Effect dem abſoluten Maximum weit näher kommt.

Wenn das Waſſer ganz ohne Stoß auf das Rad kommen ſoll, ſo müßten die Schaufeln am Radumfange mit der Richtung der Tangente zuſammenfallen; wollte man aber die Schaufeln wirklich ſo conſtruiren, daß dieſer Bedingung Genüge geleiſtet wird, ſo wäre der Austritt des Waſſers aus dem Rade gehemmt; auch darf das Waſſer ſeine Geſchwindigkeit doch nicht vollſtändig an das Rad abtreten, weil ihm ſonſt keine Geſchwindigkeit zum Abfluſſe mehr bliebe. Somit iſt auch beim Poncelet'ſchen Rade ein gewiſſer Verluſt, die Widerſtände ungerechnet, unvermeidlich.

Solche Räder mit krummen Schaufeln ſollen einen Effect geben, welcher $2/3$ bis $3/4$ des abſoluten Maximums iſt. Der größere Effect der Poncelet'ſchen Räder erklärt ſich dadurch, daß das Waſſer, indem es auf der krummen Schaufel hinaufſteigt, ſeine Geſchwindigkeit verliert und größtentheils an das Rad abgiebt.

Die oberſchlächtigen Räder werden bei höheren Gefällen von geringerer Waſſermaſſe, bei kleineren Gebirgsbächen angewendet. Das Waſſer füllt, von oben auf das Rad laufend, die Zellen auf der einen Seite des Rades, welches eben durch dieſes Uebergewicht umgedreht wird. Nahe am unteren Ende des Rades läuft das Waſſer aus den Zellen wieder aus. Bei oberſchlächtigen Rädern geht ebenfalls ein Theil des mechaniſchen Momentes des Gefälles verloren, weil die Zellen das Waſſer nicht bis zum tiefſten Punkte des Rades behalten können, ſondern ſchon früher auszugießen beginnen. Ein gut gebautes oberſchlächtiges Rad ſoll einen Effect hervorbringen, welcher 75 Procent des abſoluten Maximums beträgt, vorausgeſetzt, daß es ſich langſam umdreht, denn bei raſcher Umdrehung bleibt das Waſſer in den Zellen in Folge der Centrifugalkraft nicht horizontal, ſondern es ſteigt nach außen, ſo daß es noch früher aus den Zellen herausfällt.

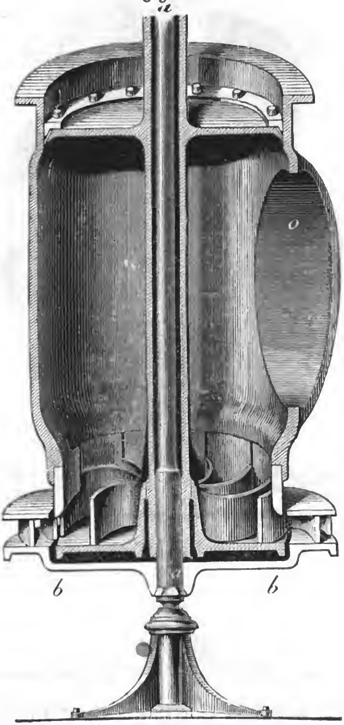
Das mittelſchlächtige Rad bildet eine Art Mittelgattung zwiſchen dem unterſchlächtigen und oberſchlächtigen.

Horizontale Waſſerräder.

Schon früher hatte man verſucht, horizontale Waſſerräder zu conſtrui-ren, allein durch Fourneyron ſind ſie erſt in neuerer Zeit in die Praxis eingeführt worden. Die Fourneyron'ſchen horizontalen Waſſerräder ſind unter dem Namen der Turbinen bekannt.

Fig. 26 ſtellt eine für ein hohes Gefälle conſtruirte Turbine dar.

Fig. 26.

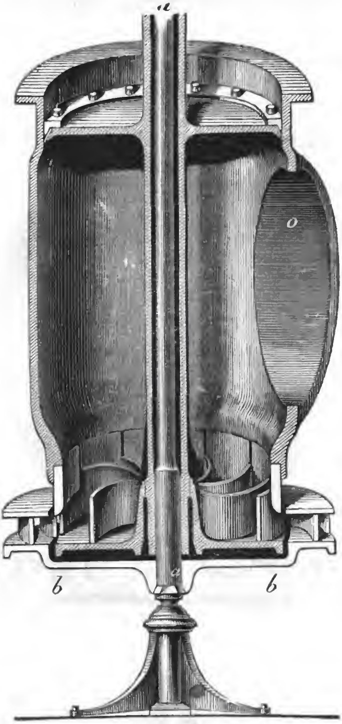


Die ganze Waſſermaſſe des Gefälles iſt in einem weiten gußeiſernen Rohre angeſammelt, aus welchem es in ein gußeiſernes Behälter durch die Oeffnung *o* eintritt. Durch die Mitte des Reſervoirs geht eine hohle Röhre, welche den oberen Deckel mit dem Boden verbindet. Dieſer hori-

zontale Boden ſtößt aber nicht an die vertikalen Wände des Gefäßes an, ſondern es befindet ſich zwiſchen ihm und den Seitenwänden ein ringförmiger Zwiſchenraum, aus welchem das Waſſer in horizontaler Richtung herausſtrömt.

Dieſes hier ausſtrömende Waſſer ſetzt nun das horizontale Rad, deſſen

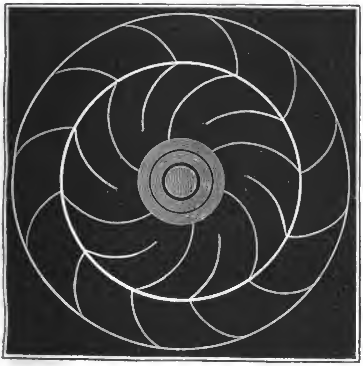
Fig. 27.



Schaufeln vertikal ſtehen, in Bewegung; *aa* iſt die vertikale Axe, um welche ſich das Rad dreht; ſie geht durch die Hülſe hindurch, welche Boden und Deckel des Reſervoirs verbindet. An dieſer Axe iſt der Teller *bb* befeſtigt, welcher, der Oeffnung des Reſervoirs gegenüber, den Radkranz mit den Schaufeln trägt.

Die Schaufeln ſind gekrümmt, wie man im Grundriſſe, Fig. 28, ſieht; um aber zu bewirken, daß das Waſſer in möglichſt vortheilhafter Richtung gegen die Schaufeln des Rades ſtößt, ſind auf dem Teller des Reſervoirs Leitkurven von Blech aufgeſetzt, welche dem ausſtrömenden Waſſer eine beſtimmte Richtung geben.

Fig. 28.



Die vortheilhafteſte Krümmung der Schaufeln und Leitkurven näher zu betrachten, würde uns zu weit führen.

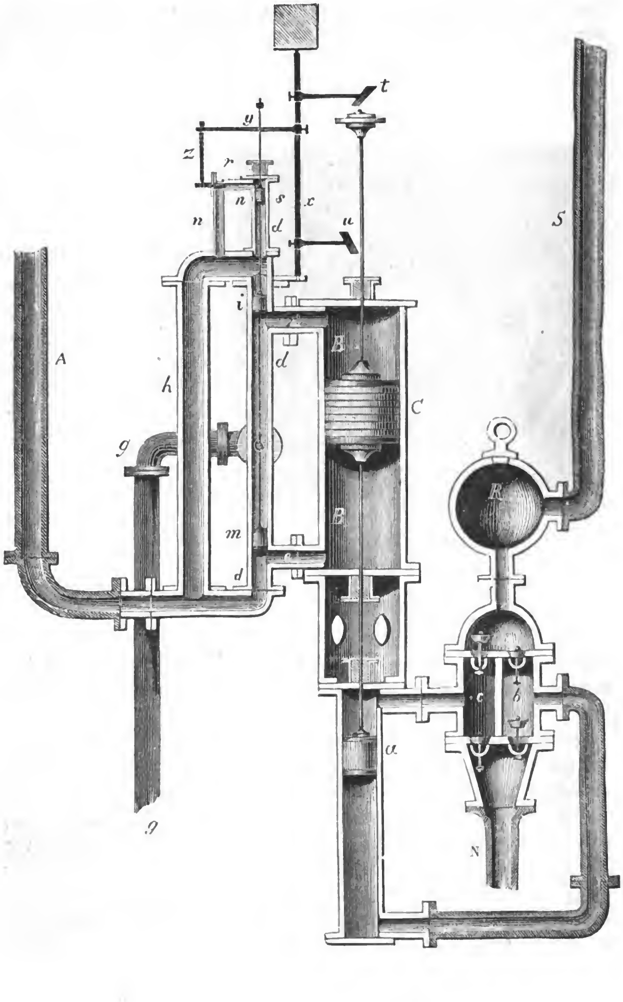
Gut conſtruirte Fourneyron'ſche Turbinen ſollen einen Effect geben, welcher 75 Procent des abſoluten Maximums beträgt. Gabiat hat die Turbinen durch Weglaſſung der Leitkurven vereinfacht und dadurch nur noch 5 Procent des abſoluten Maximums verloren, ſo daß ſeine Turbinen noch 70 Procent Effect geben ſollen.

Die Waſſerſäulenmaſchine.

Bei der Waſſerſäulenmaſchine theilt die wirkende Waſſerſäule, das Aufſchlagwaſſer, gegen einen in einem Cylinder beweglichen Kolben drückend, demſelben eine hin- und hergehende Bewegung mit, die dann von dem Kolben aus weiter fortgepflanzt wird.

In der Regel werden die Waſſerſäulenmaſchinen angewendet, um Waſſer auf eine bedeutende Höhe zu heben. So wird z. B. die Salzſoole von Reichenhall in Oberbaiern auf Umwegen 30 Stunden weit nach Roſenheim geleitet, um hier, ſowie auch an einigen Zwiſchenorten, z. B. in Trauenſtein, verſotten zu werden. Auf dieſem Wege befinden ſich 9, ſämmtlich von Reichenbach conſtruirte Waſſerſäulenmaſchinen, welche die Soole über Berge heben. Obgleich alle Waſſerſäulenmaſchinen auf demſelben Principe beruhen, ſo iſt ihre Ausführung doch in mannigfacher Hinſicht verſchieden; wir wollen hier eine der einfachſten Einrichtungen, nämlich die der Waſſerſäulenmaſchine am Neſſelgraben (eine jener 9 Maſchinen) etwas näher betrachten.

Fig. 29.



Die Röhre *A* führt das Aufſchlagwaſſer der Maſchine zu; es tritt abwechſelnd unten und dann wieder oben in den Cylinder *B* ein und treibt dadurch den Kolben *C* abwechſelnd auf und nieder.

Um dieſe Abwechſelung im Eintreten des Waſſers hervorzubringen, iſt eine Vorrichtung angebracht, welche der Steuerung bei Dampfmaſchinen ganz ähnlich iſt. In dem Cylinder *d* bewegen ſich drei mit einander verbundene Kolben; die beiden unteren ſind gleich; der obere hat einen kleineren Querſchnitt.

Bei der in der Zeichnung dargeſtellten Stellung der Kolben tritt das Aufſchlagwaſſer durch die Röhre *e* in den großen Cylinder und treibt den Kolben *C* in die Höhe. Das Waſſer, welches ſich über *C* befindet, fließt durch die Röhre *f* in die Röhre *d* und von da durch die Röhre *g* ab.

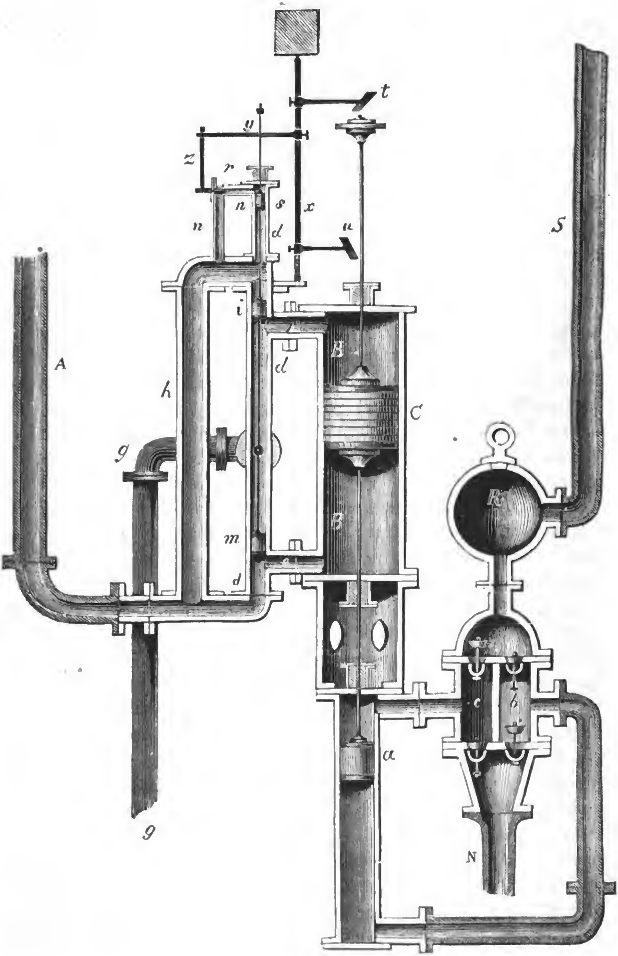
Wenn der Kolben *C* oben angekommen iſt, müſſen die Kolben in die Röhre *d* verſtellt werden, ſo daß nun das Aufſchlagwaſſer von oben in den großen Cylinder eintreten kann; dies geſchieht dadurch, daß das Kolbenſyſtem in der Röhre *d* ſo weit niedergeht, daß der Kolben *i* unter die Röhre *f*, der Kolben *m* unter *e* zu ſtehen kommt; alsdann tritt das Aufſchlagwaſſer aus der Röhre *A* durch *h* und *f* in den oberen Theil des Cylinders *B*, treibt den Kolben *C* nieder, während das unter *C* befindliche Waſſer durch *e* in die Röhre *d* tritt und aus dieſer durch die Röhre *g* abfließt.

Das Auf- und Niedergehen des Kolbenſyſtems in der Röhre *d* wird folgendermaßen bewerkſtelligt. Die Röhre *h* iſt durch die Röhre *n* mit dem oberen Ende der Röhre *d* in Verbindung; an dem Knie der Röhre *n* iſt aber ein Hahn *r* angebracht, der je nach ſeiner Stellung bald den oberen Theil der Röhre *d* mit *h* in Verbindung ſetzt, bald aber dieſe Verbindung abſchneidet und den oberen Theil der Röhre *d* mit der äußeren Luft in Verbindung bringt. Nehmen wir nun an, der Hahn ſtehe ſo, daß das Aufſchlagwaſſer von *h* durch den Hahn in den oberen Theil von *d* dringen kann, ſo iſt der Kolben *s* oben und unten durch gleiche Waſſerkraft gedrückt; außerdem drückt das Waſſer oben auf den Kolben *i*, unten gegen den Kolben *m*, das Kolbenſyſtem iſt von unten und oben gleichem Waſſerdrucke ausgeſetzt und geht durch ſein eigenes Gewicht nieder.

Wenn das Kolbenſyſtem in die Höhe gehen ſoll, ſo wird der Hahn *r* ſo verſtellt, daß die Verbindung zwiſchen *h* und dem oberen Theile von *d* unterbrochen wird. Nun wirkt von oben kein Waſſerdruck auf *s*, das über *s* befindliche Waſſer entweicht durch den Hahn aus der Maſchine. Der Waſſerdruck von oben gegen *i* wird durch den Waſſerdruck von unten gegen *m* aufgehoben, der Druck des Waſſers von unten gegen *s*, welchem kein Waſſerdruck entgegenwirkt, hebt das ganze Kolbenſyſtem in die Höhe.

Die Verſtellung des Hahns wird durch die Maſchine ſelbſt bewerkſtel-

Fig. 30.



ligt. Am oberen Ende der am Kolben C befeſtigten Kolbenſtange iſt eine runde Scheibe angebracht, welche beim Aufgange des Kolbens gegen die ſchiefe Fläche t, beim Niedergange gegen die ſchiefe Fläche u ſtößt, dieſe ſeitwärts ſchiebt und dadurch eine Drehung um die Axe x bewerkſtelligt. An der Axe x iſt aber der Hebelarm y befeſtigt, der Hebelarm y bewirkt eine Drehung des Hebelarms z und durch dieſen eine Drehung des Hahns.

Betrachten wir nun weiter, wie die Bewegung des Kolbens c fortgepflanzt und verwendet wird.

Mit dem Kolben C iſt vermittelſt einer durch eine Stopfbüchſe gehenden Stange der Kolben a in Verbindung, welcher einen weit kleineren Durchmeſſer hat als C; der Auf- und Niedergang des Kolbens C bewirkt alſo einen Auf- und Niedergang des Kolbens a; wenn aber a in die Höhe geht, ſo entſteht in der Kammer b eine Verdünnung, das untere Ventil öffnet ſich, und es wird durch die Saugröhre N Waſſer in die Kammer b gehoben. Durch den Aufgang des Kolbens a wird aber das Waſſer in die Kammer c hineingepreßt, das untere Ventil ſchließt, das obere öffnet ſich, das Waſſer wird alſo durch den Kolben in das Reſervoir R und aus dieſem in die Steigröhre S gehoben.

Beim Niedergange des Kolbens ſchließen ſich die Ventile, die jetzt offen waren, und umgekehrt; es wird Waſſer in die Kammer c geſaugt, aus b aber in das Reſervoir und die Steigröhre gehoben.

Wenn der Querſchnitt des Kolbens C 2, 3, 4mal größer iſt, als der des Kolbens a, ſo kann man (die Reibungs- und ſonſtige Widerſtände unberückſichtigt) eine Waſſerſäule heben, welche 2, 3, 4mal ſo hoch iſt als die Höhe des Aufſchlagwaſſers.

Bei der eben betrachteten Waſſerſäulenmaſchine beträgt die Höhe des Aufſchlagwaſſers 140′; ſie hebt die Salzſoole auf eine Höhe von 346′; dieſe Salzwaſſerſäule aber entſpricht einer Süßwaſſerſäule von 397′; der Durchmeſſer des Kolbens C iſt $20\frac{1}{2}$, der des Kolbens a 10 Zoll, der größere Kolben hat alſo einen faſt 4mal größeren Querſchnitt. Daß die gehobene Waſſerſäule nicht 4mal ſo hoch iſt als die Höhe des Aufſchlagwaſſers, alſo nicht 560′ beträgt, rührt daher, daß eine bedeutende Kraft zur Ueberwindung der Reibungs- und ſonſtigen Widerſtände nöthig iſt. Dieſe Maſchine giebt alſo ungefähr 70 Procent des abſoluten Maximums, denn 397 verhält ſich zu 560 nahe, wie 70 zu 100.

Die Waſſerſäulenmaſchine zu Ilſang, ebenfalls zwiſchen Reichenhall und Roſenheim, die aber etwas anders conſtruirt iſt, hebt die Soole auf eine Höhe von 1218′, was der Hebung einer Säule von ſüßem Waſſer auf die Höhe von 1460 Fuß gleich iſt. Der Durchmeſſer des größeren Kolbens iſt 25″ 8‴, der des kleineren 11″ $3\frac{1}{4}$‴.

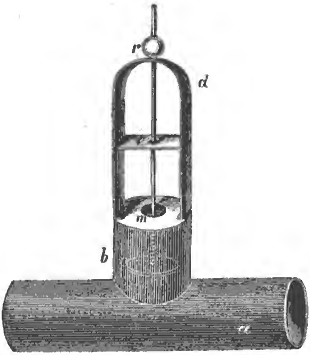
Bei der Umwandlung der auf- und niedergehenden Bewegung des Kolbens in eine gleichförmig rotirende, wie dies bei der Dampfmaſchine der Fall iſt, ſtößt man bei der Waſſerſäulenmaſchine auf große Schwierigkeiten, weil das Waſſer nicht elaſtiſch iſt wie der Dampf. Doch hat Reichenbach bei einer kleinen zu Toskana aufgeſtellten Maſchine auch dieſe Schwierigkeit durch eine ſinnreiche Einrichtung der Steuerungskolben überwunden; wir können aber hier nicht weiter auf dieſen Gegenſtand eingehen.

Mohr's Stoßheber.

Der auf S. 189 des erſten Bandes beſprochene hydrauliſche Widder, oder, wie man ihn auch nennt, der Stoßheber, gehört gewiß zu den inſtructivſten phyſikaliſchen Vorrichtungen, und es iſt deshalb wünſchenswerth, die Wirkung deſſelben durch Modelle auch in phyſikaliſchen Kabinetten zeigen zu können; die bis jetzt conſtruirten Modelle des Stoßhebers ſind aber unverhältnißmäßig koſtſpielig. Die in Folgendem beſchriebene, von Dr. Mohr in Koblenz herrührende Vorrichtung wird deshalb manchem Lehrer der Phyſik willkommen ſeyn.

Mohr's Stoßheber kann leicht aus Glasröhren und einem meſſingenen Ausflußventilchen hergeſtellt werden. Letzteres, in Fig. 31 dargeſtellt, iſt die Hauptſache daran. Es wird aus dünnem Meſſingbleche vom Spengler oder Mechaniker hergeſtellt. Auf der horizontalen Röhre *a* ſitzt ſenkrecht das kurze Röhrchen *b*, oben mit einer Scheibe geſchloſſen, in der ſich ein kleines Loch *m* befindet. Durch dieſes Loch geht der Stiel des Ventilchens *c*, deſſen Scheibe, als unſichtbar, punktirt angedeutet iſt. Der Stiel hat in dem Bügel *d* und dem Metallſtreifchen *e* ſenkrechte und gerade Führung.

Fig. 31.

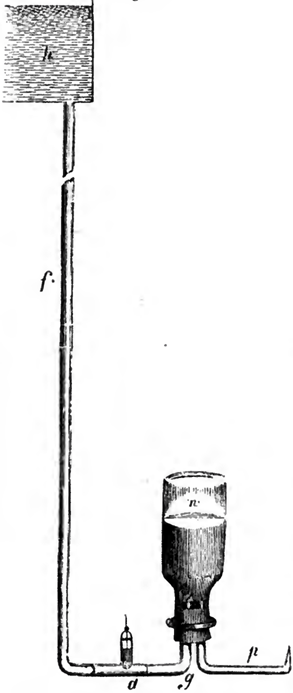


Dieſes Ventilchen iſt in die Mitte zweier Glasröhren eingekittet, wie es Fig. 32 darſtellt.

Die ſenkrechte Röhre führt das Waſſer herab. Daſſelbe ſtrömt zu der

kleinen Oeffnung *m* (Fig. 31) heraus, und die ganze herabſinkende Waſſerſäule nimmt eine Beſchleunigung an, womit ſie endlich das Ventilchen *c* hebt, und gegen die obere Platte der Röhre *b* (Fig. 31) antreibt; damit iſt hier der Ausfluß gehemmt, und die ganze in heftiger Bewegung begriffene Waſſerſäule ſtößt an dem Ventil vorbei in den Windkeſſel *w*, (Fig. 32), indem ſie das auf der Glasröhre *g* ruhende Ventil aus Leder augenblicklich hebt. Der Ausfluß aus dieſem Windkeſſel durch die Röhre *p* iſt aber ſo klein, im Verhältniß zum Zuſtrömen, durch die weite Röhre *g*, daß der Windkeſſel bald kein Waſſer mehr aufnimmt, wodurch ſich das Ventil des Windkeſſels wieder ſchließt. Die comprimirte Luft im Raume *w* dehnt ſich aber im folgenden Augenblicke aus, und wirft einen Waſſerſtrahl aus der Röhre *p* aus. Indem aber der Windkeſſel kein Waſſer mehr aufnahm, war der Stoß der Waſſerſäule ganz gehemmt, und das Ventil *b* ſank wieder herunter, damit fing hier der Ausfluß bei *m* wieder an, und ihm folgten der Reihe nach dieſelben Erſcheinungen.

Fig. 32.



Je größer die Oeffnung *m* im Ventile (Fig. 31) iſt, deſto beſchleunigter wird das Waſſer ſinken, und deſto ſtärker der Stoß in den Windkeſſel gehen, deſto höher auch das Waſſer aus *p* ſpritzen. Läßt man das Ventilchen *c* nur wenig ſinken, was man mit dem verſchiebbaren Kügelchen *r* (Fig. 31) reguliren kann, ſo folgen die Stöße raſch aufeinander. Beſchwert man das Ventil *c* oben, ſo wird es bei einer größeren Geſchwindigkeit erſt ſteigen und deshalb das Waſſer höher aus *p* ausſpritzen.

Füllt man den Windkeſſel *w* faſt ganz mit Waſſer an, ſo folgen die Stöße raſcher aufeinander, und das Waſſer ſpritzt höher, als wenn der Windkeſſel mit Luft gefüllt iſt.

Der ſcheinbare Widerſpruch, daß das Waſſer aus *p* höher ſpritzt, als

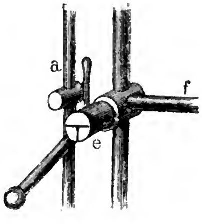
es in *a* herabſinkt, löſ't ſich durch die Betrachtung, daß nicht alles Waſſer zu dieſer Höhe gelangt, ſondern ein großer Theil unten mit ſehr geringer Bewegung ausfließt. Die an dieſem verſchwindende Bewegung erſcheint an der kleinen Menge der ausgeſpritzten als vermehrte Höhe.

Gaſometer.

Zu der Beſchreibung der Gaſometer auf Seite 192 iſt noch hinzuzufügen. Eckling in Wien verfertigt jetzt ſolche Gaſometer von Glas, welche höchſt elegant ſind und bei welchen man die ganze Einrichtung, der Durchſichtigkeit des Materials wegen, leicht überſieht. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß hier das Waſſerſtandsrohr wegfällt. Fig. 33 ſtellt einen ſolchen Apparat in $^1/_{10}$ der natürlichen Größe dar. Das untere Glasgefäß *A* hat oben einen engeren Hals, der in eine Kupferbüchſe eingekittet iſt. In der Mitte des etwas gewölbten Deckels derſelben erhebt ſich eine Röhre, die bei *e* einen Hahn hat, der geöffnet das Gas durch das horizontale Rohr *f* ausſtrömen läßt. Der obere Waſſerbehälter iſt unten eben ſo gefaßt wie *A* oben. Ein Rohr *a* führt von demſelben bis faſt zum Boden von *A*, *c* iſt nur eine Stütze. Um *A* mit Waſſer zu füllen, wird die Oeffnung bei *d* geſchloſſen; der Hahn *e* und der Hahn der Röhre *a* geöffnet und in das obere Gefäß Waſſer eingegoſſen. Sobald das untere Gefäß mit Waſſer gefüllt iſt, werden beide Hähne geſchloſſen, *d* geöffnet und nun hier das Gas eingeleitet. Sobald das Gaſometer mit Gas gefüllt iſt, wird *d* geſchloſſen und der Hahn *a* geöffnet, ſo daß das Gas in *A* durch eine Waſſerſäule gepreßt iſt. Das Gas ſtrömt nun durch *f* aus, ſobald der Hahn *e* geöffnet wird.

Fig. 33

Fig. 34.



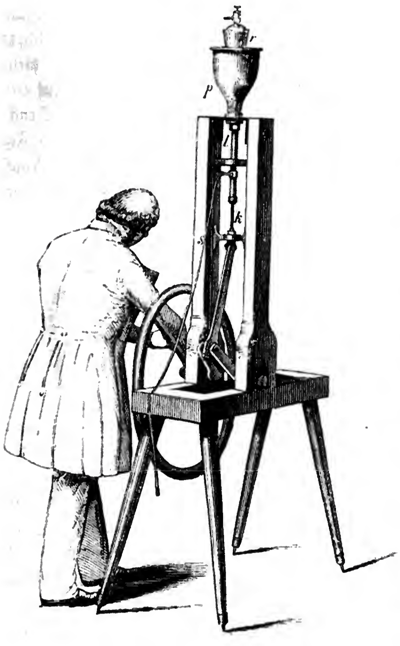
Bei der in Fig. 34 deutlicher gezeichneten doppelten Durchbohrung des Hahnes *e* kann man das Gas ſtatt in die Luft durch die Röhre *f* auch durch die ſenkrechte Fortſetzung der Röhre *e* in das obere Waſſergefäß austreten laſſen, dieſes als Waſſerwanne benutzen und das Gas leicht in Glocken, Flaſchen u. ſ. w. umfüllen.

Condenſation der Gaſe.

In Betreff der Condenſation von Gaſen, iſt auf Seite 279 Folgendes nachzutragen.

Thilorier hat zuerſt einen Apparat conſtruirt, um eine ziemlich bedeutende Menge Kohlenſäure zu condenſiren; die Anwendung deſſelben iſt aber gefährlich, indem er nicht die nöthigen Garantieen gegen Exploſionen bietet; und in der That ſind ſchon mehrere Unglücke durch Platzen des Thilorier'ſchen Apparates entſtanden.

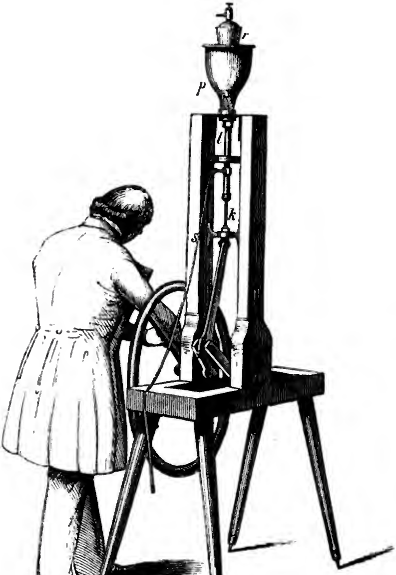
Fig. 35.



Natterer in Wien hat aber nun einen ſehr zweckmäßigen, ganz ſicheren Apparat zur Verdichtung der Kohlenſäure, welcher in Fig. 35 abgebildet iſt, conſtruirt; *l* iſt ein Rohr, welches dem zur Ladung einer Windbüchſe dienenden Rohre entſpricht. Während das Rohr, welches zum Laden der Windbüchſe dient, zwei Oeffnungen hat, welche das Innere des Rohrs mit der äußeren Luft verbinden, iſt hier unten nur eine Oeffnung, an welche ſich ein Schlauch *s* anſetzt, der zu einem mit Kohlenſäure gefüllten Gaſometer führt. In unſerer Figur iſt nun

dieſer Schlauch, aber nicht das Gaſometer dargeſtellt. Man kann ein Gaſometer von beliebiger Form anwenden. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß zwiſchen das Gaſometer und dem Verdichtungsapparat eine Chlorcalciumröhre eingeſchaltet werden muß, damit das Gas von Waſſerdampf befreit wird.

Fig. 36.



Oben iſt an den Lauf *l* eine ſtarke Flaſche *r* von Schmiedeeiſen aufgeſchraubt, welche den Windbüchſenkolben entſpricht und auch ähnlich eingerichtet iſt; da wo ſie auf die Röhre aufgeſchraubt wird, befindet ſich nämlich ein Ventil, welches ſich nach innen öffnet und nach außen ſchließt. Der obere Theil dieſer Flaſche, welche auf 150 Atmoſphären Druck geprüft iſt, iſt in Fig. 37 in größerem Maaßſtabe dargeſtellt. Oben

Fig. 37.

iſt ein eiſerner Aufſatz *g* angeſetzt, in welchen eine horizontale meſſingene Röhre *n* mit feiner Oeffnung mündet. *g* iſt in der Mitte durchbohrt, ſo daß, wenn man die Schraube *t* bis zu einer gewiſſen Gränze in die Höhe ſchraubt, das Gas aus der Flaſche durch *g* und das Rohr *n* ausſtrömen kann; wenn aber *t* heruntergeſchraubt wird, ſo iſt die Ausflußöffnung verſchloſſen. Der untere Theil der Flaſche *r* iſt, wie man aus Fig. 36 ſieht, mit einem Kupfergefäß *p* umgeben, welches mit Eisſtücken und Salz gefüllt wird, um die gehörige Abkühlung zu bewirken.

Das Einpumpen des Gaſes in die Flaſche geſchieht mit Hülfe einer

Kurbel und eines Schwungrades. Die Kolbenſtange k iſt unten an einem meſſingenen Querſtücke befeſtigt, welches in Couliſſen läuft, die auf beiden Seiten am Geſtell angebracht ſind und wodurch die verticale Bewegung der Kolbenſtange geſichert iſt. Die Art der Bewegung und die Fortpflanzung der Bewegung iſt aus der Figur erſichtlich.

Vor dem Beginn des Verſuchs wird das Gewicht des Recipienten beſtimmt. Nachdem er aufgeſchraubt iſt, werden 20 bis 30 Umdrehungen gemacht, worauf man das Gas mit der im Recipienten befindlichen atmoſphäriſchen Luft durch den geöffneten Hahn entweichen läßt; hierauf wird der Hahn wieder geſchloſſen, und nun beginnt eigentlich erſt das Comprimiren. So oft man 2 bis 3 Kubikfuß Kohlenſäure eingepumpt hat, wird der Recipient wieder gewogen und die Operation ſo lange fortgeſetzt, bis die Gewichtszunahme des Recipienten ungefähr 450 Gramm beträgt, wo dann ungefähr $^2/_3$ des Recipienten mit flüſſiger Kohlenſäure gefüllt ſind.

Man kann in dieſem Apparat die Kohlenſäure im flüſſigen Zuſtande nicht ſehen; wie ſie aber in feſte Kohlenſäure verwandelt wird, iſt weiter unten gezeigt.

Auch Stickſtoffoxydulgas läßt ſich in dieſem Apparate verdichten.

Wenn man den mit flüſſiger Kohlenſäure gefüllten Recipienten des Apparates Fig. 36 auf Seite 42 abkühlt, indem man ihn in eine Kältemiſchung ſtellt; wenn man dann die Flaſche umkehrt, ſo daß der Hahn unten iſt, und dieſen Hahn öffnet, ſo dringt ein Strahl flüſſiger Kohlenſäure hervor, welche ganz milchig erſcheint, weil durch die raſche Verdunſtung ſo viel Wärme gebunden wird, daß ein Theil der Kohlenſäure ſelbſt in den feſten Zuſtand übergeht; es bilden ſich ſchneeähnliche Flocken von Kohlenſäure. Um dieſe feſte Kohlenſäure zu ſammeln dient der Behälter Fig. 38. Zwei Cylinder von Meſſingblech, welche auf der einen Seite

Fig. 38.

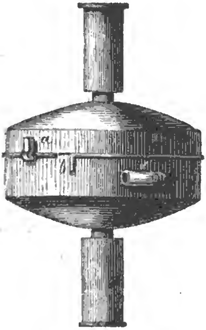
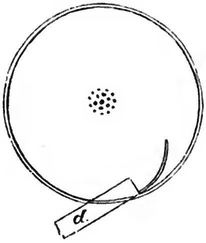


Fig. 39.



mit einem gewölbten Boden geſchloſſen ſind, werden zuſammengeſteckt, wie man aus Fig. 40 erſieht, ſo daß ſie einen geſchloſſenen Raum bilden. Ein am oberen Cylinder feſt anſitzender Haken *a* greift ebenſo wie ein diametral gegenüberſtehender über einen auf den andern Cylinder aufgelötheten Drahtring und hindert dadurch das Auseinandernehmen der beiden Theile; dreht man ſie aber ſo, daß der Haken *a* an die Stelle *b* kommt, wo der Drahtring unterbrochen iſt, ſo kann man die beiden Theile auseinandernehmen. In Fig. 41 iſt der untere Theil im Grundriſſe

Fig. 40.

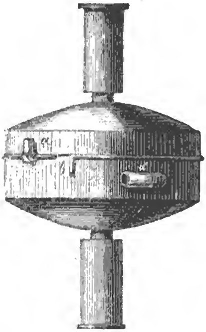
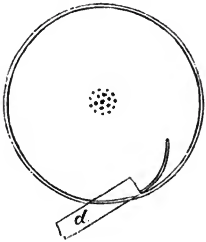


Fig. 41.



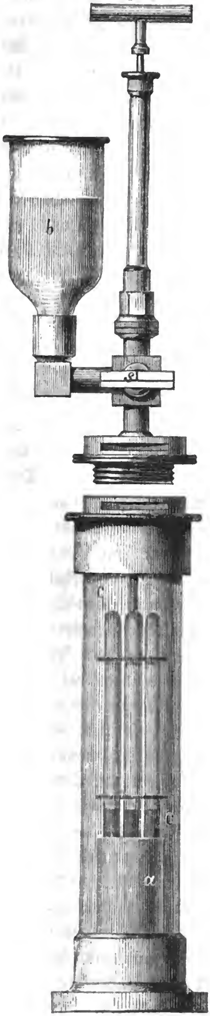
dargeſtellt. Eine Röhre *d* führt in den Behälter hinein; in dieſe Röhre *d* wird das an der Flaſche Fig. 37 befindliche Röhrchen *n* hineingeſteckt und dann die Schraube *t* geöffnet. Die Kohlenſäure ſtrömt nun in den Behälter Fig. 40, deſſen Handgriffe auf beiden Seiten hohl ſind, ſo daß durch die Löcher in den beiden Böden die verdampfende Kohlenſäure entweichen kann, während die feſte ſchneeartige in dem Blechgefäße geſammelt wird. Man braucht nur die beiden Theile auseinander zu nehmen, um die feſte Kohlenſäure herausnehmen zu können.

Dieſe hat nun eine ſehr niedrige Temperatur, welche noch dadurch erniedrigt werden kann, daß man noch Aether darauf tröpfelt; eine ziemliche Quantität Queckſilber kann man mit dieſem Brei augenblicklich gefrieren machen; mit dem Finger berührt erzeugt ſie ein ſchmerzhaftes Gefühl; die Temperatur iſt unter — 90⁰, was jedoch nur mit Thermometern von Weingeiſt oder Schwefelkohlenſtoff ermittelt werden kann.

Um die Verhältniſſe näher zu unterſuchen, bei denen die Condenſation der Gaſe ſtattfindet, iſt wohl kein Apparat geeigneter, als der in Fig. 42 dargeſtellte, welcher, ſo viel ich weiß, von M a g n u s herrührt.

In einem Glascylinder *c* von ſehr dickem Glaſe, welcher unten mit

Fig. 42.



einem Meſſingfuß verſehen iſt, damit er ſicher ſteht, wird ein Gefäß *a* von Eiſenblech eingeſetzt, welches in der Mitte mit einem Stabe verſehen iſt, mittelſt deſſen man es aus dem Glascylinder hineinſetzen und wieder herausnehmen kann. Dieſes Gefäß iſt mit Queckſilber gefüllt und in dieſes Queckſilber tauchen vier Röhrchen, von denen das eine Luft, das zweite ſchweflige Säure, das dritte Ammoniakgas, das letzte endlich Cyangas enthält. Die Röhrchen ſind unten offen, die Gaſe alſo durch Queckſilber abgeſperrt.

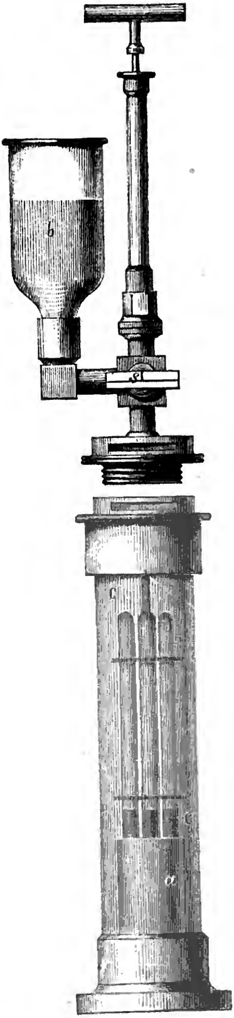
Wenn dieſes Gefäß mit ſeinen Gasröhrchen in den Cylinder eingeſetzt iſt, ſo wird er ganz mit Waſſer gefüllt und in ſeine obere Meſſingfaſſung der Aufſatz aufgeſchraubt, welchen die Figur zeigt.

Dieſer Aufſatz iſt mit einer Druckpumpe verſehen. Der Hahn *s* iſt in denſelben Richtungen durchbohrt, wie es auf ſeinem Griffe durch Striche angedeutet iſt; ſteht er, wie es die Figur zeigt, ſo iſt alſo das Waſſergefäß *b* durch den Hahn *s* mit der Pumpe in Verbindung; wird nun der Kolben der kleinen Pumpe in die Höhe gezogen, ſo wird Waſſer aus *b* in die Pumpe geſaugt.

Dreht man jetzt den Hahn *s* um eine Viertelumdrehung nach der rechten Seite hin, ſo kommt das Pumpenrohr mit dem Glascylinder *c* in Verbindung, die Verbindung des Gefäßes *b* mit der Pumpe iſt aber abgeſperrt, wenn alſo nun der Pumpenkolben niedergedrückt wird, ſo wird das zuvor aus *b* eingeſaugte Waſſer in den Glascylinder *c*, und dadurch das Queckſilber aus *a* in die Gasröhren gepreßt, in allen dieſen Röhren wird alſo das Gas zuſammengedrückt.

Bringt man, nach der linken drehend,

Fig. 43.



den Hahn wieder in ſeine urſprüngliche Stellung, ſo läßt ſich dieſelbe Operation wiederholen, und ſo kann man die Gaſe mehr und mehr comprimiren.

Das Röhrchen, welches die Luft enthält, iſt graduirt und dient dazu, die Stärke des Druckes zu meſſen, welchem die Gaſe ausgeſetzt ſind. Iſt die Luft bis auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ ihres urſprünglichen Volumens comprimirt, ſo iſt der Druck, welchem die Gaſe ausgeſetzt ſind, gleich 2, 4, 8 Atmoſphären.

Im Anfang ſteigt das Queckſilber in allen Röhrchen gleichmäßig; die Gaſe verhalten ſich alſo ganz wie die Luft, und dies Verhalten zeigt jeder Dampf, wenn er nicht im Maximum ſeiner Spannkraft iſt, wenn ein gegebener Raum noch nicht ſo viel Dampf enthält, als bei der beſtehenden Temperatur möglich iſt. Durch fortwährende Compreſſion der genannten Gaſe wird aber bald dieſer Punkt erreicht. Bei einer Temperatur von 15⁰ wird die ſchweflige Säure zu einem geſättigten Dampf, wenn ſie durch einen Druck von nahe zu vier Atmoſphären comprimirt iſt, wenn alſo die Luft in dem graduirten Röhrchen noch etwas mehr als den vierten Theil ihres Volumens einnimmt. Iſt dieſe Gränze erreicht, ſo ſieht man, wie ſich das Innere des Röhrchens, welches die ſchweflige Säure enthält, gleichſam mit Thautröpfchen bekleidet, weil ein Theil des Gaſes ſchon zu Flüſſigkeit verdichtet iſt. Pumpt man nun noch weiter fort, ſo wird die ſchweflige Säure alsbald vollſtändig in eine waſſerhelle Flüſſigkeit verwandelt.

Dieſelben Erſcheinungen beobachtet man auch beim Cyangas und beim Ammoniakgas, nur tritt ihre Condenſation erſt bei einem ſtärkeren Drucke ein.

Anfangs iſt die Volumenverminderung in allen vier Röhren gleich, ſobald aber für ein Gas der erwähnte Grenzpunkt erreicht iſt, wird bei fernerem Pumpen ſein Volumen bei weitem raſcher abnehmen, das Queckſilber ſteigt raſch bis oben hin und über demſelben befindet ſich dann nur noch eine Flüſſigkeit.

Hat man die drei Gaſe vollſtändig zu tropfbaren Flüſſigkeiten condenſirt, ſo kann man nun bei Oeffnung des Apparates die umgekehrte Erſcheinungsreihe beobachten.

Bringt man den Hahn *s* in eine ſolche Stellung, daß der Glascylinder *c* mit dem Waſſergefäß *b* in Verbindung kommt, ſo tritt das vorher eingepumpte Waſſer wieder aus *c* nach *b* zurück, die Gaſe dehnen ſich wieder aus. Man kann nun aber den Hahn allmälig drehen, ſo daß der Druck in *c* nur nach und nach abnimmt, und dabei beobachtet man folgende Erſcheinungen:

Anfangs dehnt ſich nur die Luft aus; in den anderen Röhren ſinkt das Queckſilber noch nicht, bis der Punkt erreicht iſt, wo die Spannkraft der Dämpfe dem Druck das Gleichgewicht halten kann; in dieſem Moment bilden ſich aus der Flüſſigkeit Dämpfe, die das Queckſilber des entſprechenden Röhrchens nun ſo raſch niederdrücken, daß es alsbald den Stand des Queckſilbers in der Luftröhre erreicht hat. Dies findet natürlich zuerſt beim Ammoniak Statt. Schließt man den Hahn in dem Augenblicke wieder, wo ſich die Ammoniakdämpfe gebildet und das Queckſilber niedergedrückt haben, ſo ſteht nun in der Luft- und in der Ammoniakröhre das Queckſilber gleich hoch, in den beiden anderen Röhren aber hat ſich noch gar kein Gas aus der Flüſſigkeit entwickelt. Läßt der Druck ferner nach, ſo wird ſich zunächſt aus dem flüſſigen Cyangas, zuletzt aber aus der flüſſigen ſchwefligen Säure wieder Gas bilden, und das Queckſilber alsbald ſo weit niederdrücken, daß es gleiche Höhe mit dem in der Luftröhre hat.

Das raſche Sinken des Queckſilbers rührt aber daher, daß wenn einmal der Druck ſo weit abgenommen hat, daß er der Spannkraft der bei dieſer Temperatur aus der Flüſſigkeit ſich bildenden Dämpfe gleich iſt, nun auf einmal alle Flüſſigkeit in die Gasform übergeht und das Queckſilber ſehr raſch niederdrückt.

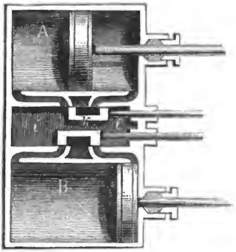
Schieberſteuerung an Locomotiven.

Der Beſchreibung der Locomotive auf Seite 319 iſt noch beizufügen.

Die Schieberſteuerung iſt bei den neueren Locomotiven anders eingerichtet, als es in Fig. 283 gezeichnet iſt, weshalb auch ſtatt dieſer älteren Einrichtung die jetzige, zu deren Erläuterung Fig. 45 und Fig. 46 auf folgender Seite dienen, näher beſchrieben werden ſoll.

Die Schieber ſind bei den neueren Locomotiven nicht über, ſondern neben den Cylindern angebracht, wie man dies in Fig. 44 ſieht. *i* iſt ein Raum in der Mitte zwiſchen den beiden Cylindern, und in dieſen Raum tritt zunächſt der Dampf ein. An der rechten und linken Seitenwand dieſes Raumes bewegen ſich die Vertheilungsſchieber, welche zu den beiden Cylindern gehören.

Fig. 44.



In dem Cylinder *A* iſt der Kolben gerade in der Mitte ſeines Weges, der Schieber *k* ſteht ſo, daß der Dampf auf der linken Seite in den Cylinder eintritt, alſo den Kolben nach der rechten Seite hintreibt. Dieſelbe Stellung des Schiebers iſt auch durch Fig. 45 dargeſtellt, in welcher man den Schieber *k* ſeiner ganzen Breite nach ſieht, wie er von *B* aus erſcheint. Links von *k* erſcheint die Oeffnung, durch welche der Dampf auf der linken Seite in den Cylinder eintritt, als eine dunkle Spalte.

Der Schieber iſt an einer Stange befeſtigt, deren anderes Ende zwiſchen zwei concentriſchen eiſernen Bogen *h* gefaßt iſt, welche den Namen der **Hängtaſche** führen.

Fig. 45.

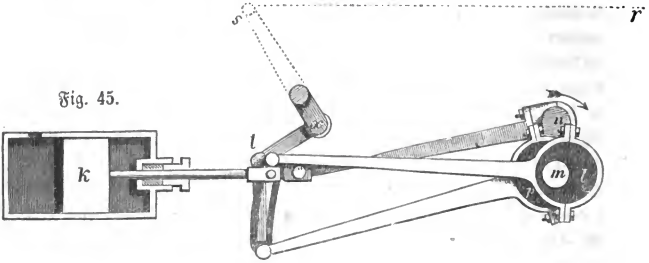
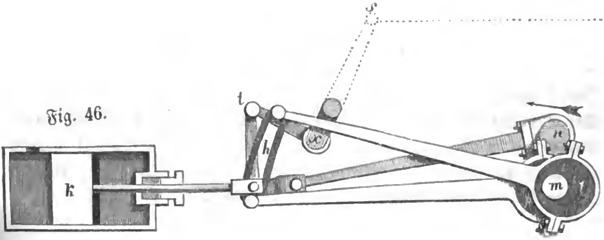


Fig. 46.



Am oberen Ende der Hängtaſche iſt die Stange der excentriſchen Scheibe *l*, am unteren Ende derſelben iſt die Stange der excentriſchen Scheibe *p* befeſtigt.

Die beiden excentriſchen Scheiben ſind dicht neben einander, ihre Mittelpunkte aber ſtehen diametral gegenüber, ſo daß der eine rechts von der Hauptaxe *m* hängt, wenn der andere auf der linken Seite hängt; wenn *p* oben iſt, iſt *l* unten u. ſ. w., wenn alſo die Stange von *l* nach der rechten Seite geht, ſo geht die von *p* nach der linken, kurz das obere Ende der Hängtaſche wird immer entgegengeſetzt dem unteren Ende bewegt.

Wenn die Hängtaſche die Stellung Fig. 45 hat, ſo wird der Schieberſtange die Bewegung des oberen Endes der Hängtaſche mitgetheilt, der Schieber wird alſo durch die excentriſche Scheibe *l* geführt; wird aber die Hängtaſche in die Höhe gezogen, ſo daß ſie die Stellung Fig. 46 bekommt, ſo wird dadurch die Führung des Schiebers der excentriſchen Scheibe *p* übertragen, und dadurch die Richtung, nach welcher ſich die Räder drehen, umgekehrt.

Betrachten wir näher, wie es zuſammenhängt, daß durch Aufziehen der Hängtaſche die Richtung, in welcher ſich die Räder drehen, umgekehrt wird.

In Fig. 45 ſowohl als in Fig. 46 ſteht die Kurbel *n* gerade nach Oben, der Kolben ſteht alſo gerade in der Mitte des Cylinders.

Die excentriſche Scheibe *l* hat gerade ihre äußerſte Stellung auf der rechten Seite, und da bei der Stellung der Hängtaſche, wie ſie Fig. 45 dargeſtellt iſt, die Führung des Schiebers durch *l* geſchieht, ſo hat auch der Schieber die äußerſte Stellung rechts, folglich iſt der links in den Cylinder führende Kanal frei, der Dampf tritt auf der linken Seite in den Cylinder ein, der Kolben wird nach der Rechten getrieben, die Kurbel bewegt ſich alſo in der Richtung des Pfeils Fig. 45.

Wird nun bei unveränderter Stellung des Kolbens und der Kurbel die Hängtaſche in die Höhe gezogen, ſo iſt nun die Stellung des Schiebers *k* durch die excentriſche Scheibe *p* bedingt, da aber *p* ſeine äußerſte Stellung links hat, ſo wird durch Aufziehen der Hängtaſche der Schieber nach der linken geſchoben, ſo daß, wie man in Fig. 46 ſieht, der nach der rechten Seite in den Cylinder führende Kanal frei wird, der Dampf ſtrömt jetzt auf der rechten Seite in den Cylinder, treibt den Kolben nach der linken, die Kurbel wird alſo jetzt in der Richtung des Pfeils Fig. 46 gedreht, welche der Drehungsrichtung von Fig. 45 entgegengeſetzt iſt.

Die Hängtaſche hängt an den Winkelhebel *s x t*, deſſen Drehpunkt bei *x* iſt; wird dieſer Winkelhebel durch Ziehen an der Stange *r s* aus der Stellung Fig. 45 in die Fig. 46 gebracht, ſo wird dadurch die Hängtaſche

gehoben; vermittelſt des Winkelhebels *sxt* kann man alſo die Führung des Schiebers nach Belieben der einen oder der anderen excentriſchen Scheibe übertragen, folglich nach Belieben die Bewegung umſetzen.

Von der Elektricität.

Der Beſchreibung verſchiedener Elektriſirmaſchinen iſt noch beizufügen die Beſchreibung der

Dampfelektriſirmaſchine.

Vor einigen Jahren machte der Engländer Armſtrong eine eben ſo intereſſante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, daß in der Nähe von Newcaſtle beim Ausſtrömen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektriſche Erſcheinung beobachtet worden ſey; als nämlich der Maſchinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfſtrahl hielt und mit der andern nach dem Hebel des Ventils faßte, um die Belaſtung derſelben zu ajüſtiren, ſchlug ein Funken zwiſchen dem Hebel und ſeiner Hand über, während er zugleich einen ſtarken elektriſchen Schlag erhielt.

Armſtrong fand dieſe Angaben beſtätigt und beobachtete bald auch an anderen Dampfkeſſeln ähnliche Erſcheinungen.

Den ausſtrömenden Dampf fand er poſitiv elektriſch.

An einer auf eine iſolirende Unterlage geſtellten Locomotive fand Armſtrong, daß dieſelbe eine ſtarke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die poſitive Elektricität des ausſtrömenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar ſo, daß man ſehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwicklung möchte wohl durch die Dampfbildung oder ſeine nachherige Condenſation veranlaßt werden, und hoffte, daß die neu entdeckte Erſcheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entſtehung der atmoſphäriſchen Elektricität gehüllt iſt.

Nach ſpäteren, namentlich von Faraday angeſtellten Verſuchen iſt jedoch wohl kein Zweifel mehr, daß die Quelle dieſer Elektricität die Reibung des mit Gewalt ausſtrömenden Dampfes an den Rändern der Oeffnung iſt.

Armſtrong hat die beim Ausſtrömen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Conſtruction einer Elektriſirmaſchine benutzt, welche er Hydroelektriſirmaſchine nennt. Eine koloſſale Maſchine der Art hat er für das polytechnic Institution zu London anfertigen laſſen.

Dieſer Apparat beſteht aus einem cylinderförmigen Dampfkeſſel von 3½ Fuß Durchmeſſer und 6½ Fuß Länge. Der Feuerheerd iſt im Keſſel enthalten, und die erhitzte Luft wird in Röhren durch das Waſſer zu einem Schornſteine geführt. Der Apparat iſt durch 6 ſtarke Glasfüße iſolirt.

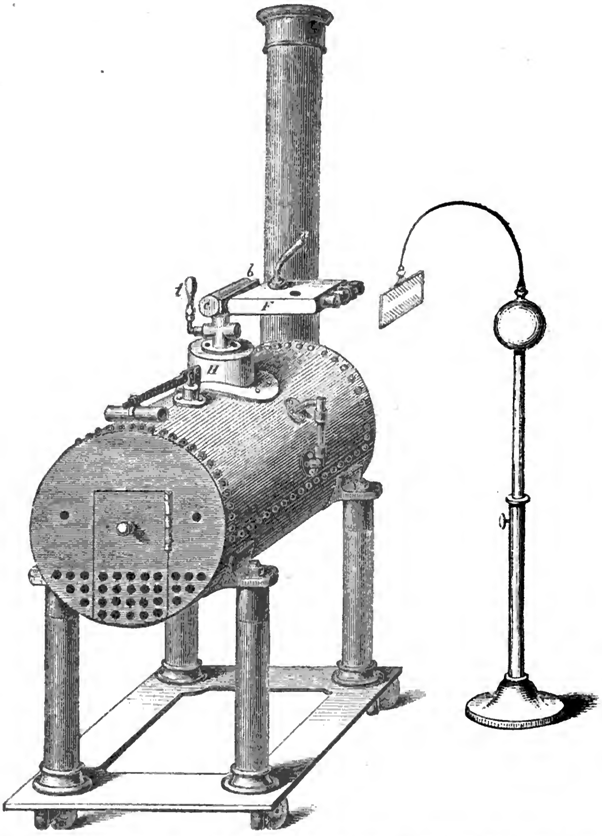
Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verſchließbaren Röhren, an deren Mündung eine Röhre von hartem Holze eingeſetzt iſt, wodurch die Wirkung ſehr verſtärkt wird.

Der Dampf ſtrömt gegen eine Reihe von Metallſpitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung ſtehen, um die Elektricität des Dampfes abzuleiten. Aus dem Keſſel konnten 22 Zoll lange Funken gezogen werden.

Fig. 47 auf folgender Seite ſtellt eine ſolche Dampfelektriſirmaſchine

dar, deren Keſſel 44 Centimeter im Durchmeſſer hat und 96 Centimeter

Fig. 47.



lang iſt; die Zeichnung derſelben verdanke ich der Güte des Herrn Profeſſors Eiſenlohr in Karlsruhe. Die Feuerung iſt innen angebracht, wie man aus dem Durchſchnitt Fig. 48 erſieht.

Oben auf dem Dampfkeſſel befindet ſich ein Hut, auf welchem ein kurzes durch einen Hahn verſchließbares Meſſingrohr befeſtigt iſt; auf dieſes

kurze Rohr können dann die Ausſtrömungsöffnungen aufgeſchraubt werden, die alsbald näher beſchrieben werden ſollen.

Vor dem Hute ſieht man ein Sicherheitsventil, deſſen Gewicht verſchiebbar iſt und welches ſo weit herausgerückt werden kann, daß der Dampf einen Druck von 90 Pfund auf den Quadratzoll ausüben muß, um das Ventil zu heben.

Auf der rechten Seite des Dampfkeſſels iſt ein Glasrohr angebracht, welches oben und unten mit dem Keſſel in Verbindung ſteht, ſo daß man an dieſem Rohre gerade ſo wie bei Locomotiven den Waſſerſtand ſehen kann.

In Fig. 49 iſt der auf den Keſſel aufgeſchraubte Apparat mit den Ausſtrömungsöffnungen beſonders abgebildet, und zwar von oben geſehen. Auf den Hals des Dampfkeſſels wird ein gußeiſernes Rohr *bc* von ungefähr 24^{cm} Länge und 5^{cm} Durchmeſſer aufgeſchraubt. Aus dieſem Rohre tritt dann der Dampf durch 6 horizontale Röhren *d d'* aus, welche durch einen Kaſten von Meſſingblech hindurchgehen, welcher mit kaltem Waſſer gefüllt iſt, ſo daß ein Theil des durch die Röhren ſtrömenden Dampfes condenſirt wird, was die Wirkung ſehr verſtärkt.

Fig. 48.

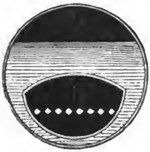


Fig. 49.

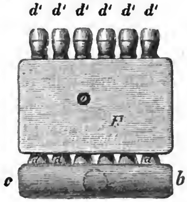
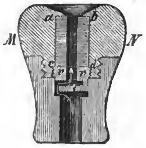


Fig. 50.



Auf eine Oeffnung *o* im obern Deckel des Kaſtens *F* wird ein Meſſingrohr aufgeſetzt, welches bei *n* Fig. 47 in den Schornſtein führt und durch welches die im Kaſten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 50 ſtellt die in Fig. 49 mit *d'* bezeichneten Ausſtrömungsöffnungen im Durchſchnitt und zwar in ½ der natürlichen Größe dar. An das Ende des Rohres wird ein Meſſingſtück *MN* eingeſchraubt, in welchem Holzpflock *abcd* ſteckt, welcher das Ende der Ausſtrömungsröhre bildet. Dieſer der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Meſſingſtück *MN* eingeſchraubten kurzen Meſſingcylinder *r* an ſeiner Stelle feſtgehalten. An dieſem gleichfalls durchbohrten Cylinder *r* iſt vorn vor ſeiner Oeffnung eine Meſſingplatte ſo angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausſtrömungsöffnung zu gelangen.

Wenn der Apparat Fig. 49 auf den Dampfkeſſel aufgeſchraubt iſt und

der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffs *l* Fig. 47, der Abſperrhahn geöffnet, der Dampf ſtrömt mit Gewalt aus den ſechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Keſſel elektriſch. Der entweichende Dampf hat die entgegengeſetzte Elektricität wie der Keſſel; um aber eine möglichſt ſtarke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichſt abgeleitet werden; dies geſchieht dadurch, daß man in den Dampfſtrom eine Reihe von Metallſpitzen ſtellt, welche an einem meſſingenen Stabe befeſtigt mit dem Boden in leitender Verbindung ſtehen. Dieſer Stab ſteht auf einem Glasfuße, ſo daß man ihn iſoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengeſetzte Elektricität des Keſſels hat.

Mit dieſer Hydroelektriſirmaſchine läßt ſich eine Batterie von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Sekunden vollſtändig laden.

Zu wiſſenſchaftlichen Verſuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausſtrömungsöffnung anzuſchrauben. Um dieſe anzuſchrauben, gehen bei dem beſchriebenen Apparate auf der rechten und linken Seite des Hutes *H* noch Röhren mit Hähnen hervor, die in unſerer Zeichnung weggelaſſen ſind. Man könnte dieſe Ausſtrömungsröhren wohl auch ſo einrichten, daß man ſie bei *a* aufſchrauben könnte.

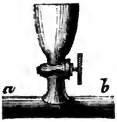
Daß die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflußkanals und nicht etwa durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verſchwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität iſt es weſentlich, daß ſchon condenſirte Waſſertheilchen durch den ausſtrömenden Dampf mit durch die Ausſtrömungsröhren durchgetrieben werden, deshalb der Condenſationsapparat *F* Fig. 49. Wenn die Ausſtrömungsröhren lang genug ſind, iſt kein beſonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, ſo iſt der Keſſel negativ, der Dampf poſitiv elektriſch; daſſelbe iſt der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläſernen Dampfmündung. Wendet man ſtatt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, ſo zeigt der Keſſel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausſtrömungsröhre bringt, ſo wird der Keſſel poſitiv und der Dampf negativ elektriſch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüſſigkeiten bequem in die Ausſtrömungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 51 angedeutet iſt. *a b* iſt ein Stück des

Fig. 51.



Ausſtrömungsrohres; aus demſelben geht eine Röhre vertikal in die Höhe, welche durch einen Hahn geöffnet und geſchloſſen werden kann; über dieſem Hahn befindet ſich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüſſigkeit eingegoſſen wird; ſobald man den Hahn öffnet, fließt die Flüſſigkeit aus dem Trichter in das Ausſtrömungsrohr herab.

Wenn durch Terpentinöl der Keſſel poſitiv gemacht worden iſt, ſo verliert ſich dieſer Zuſtand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, ſobald alles Terpentinöl weggeriſſen und verdampft iſt. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieſelbe Wirkung hervor, nur iſt ihre Wirkung bleibender, weil ſie nicht ſo flüchtig ſind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeſtrömt iſt, iſt unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zuſtand des Keſſels wieder zu erzeugen, wie er entſtehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausſtrömte.

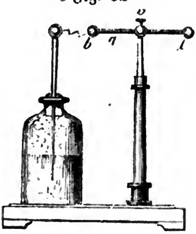
Bringt man durch den Hahn Fig. 51 eine Salzlöſung in die Ausſtrömungsröhre, ſo hört augenblicklich alle Elektricitätsentwicklung auf.

Alle dieſe Umſtände beweiſen, daß nur in der Reibung der ausſtrömenden Waſſer- und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzuſtandes die Urſache der Elektricitätsentwicklung zu ſuchen ſey.

Wirkungen des Entladungsſchlages.

Eine für quantitative elektriſche Unterſuchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demſelben Fuße, auf welchem die Flaſche ſteht, iſt ein vertikaler Stab befeſtigt, durch deſſen oberes Ende ein horizontales mit zwei Kugeln endigendes Meſſingſtäbchen hindurchgeht. Mit Hülfe der Schraube *v* kann man die Kugel *b* der Kugel der Flaſche beliebig nähern und von derſelben entfernen; der Stab *b l* iſt eingetheilt, ſo daß

Fig. 52



man jederzeit mit Genauigkeit die Entfernung der Kugel *b* von der Kugel der Flaſche ermitteln kann.

Der horizontale Stab *b l* ſteht mit der äußeren Belegung der Flaſche durch den vertikalen Stab in vollkommen leitender Verbindung.

Wenn man die Kugel *b* in einer beſtimmten Lage feſtgeſtellt hat, ſo wird der Funken überſpringen, wenn die Ladung der Flaſche eine gewiſſe Größe erreicht hat; ſo oft nun

bei unveränderter Stellung der Kugel *b* eine Entladung der Flaſche ſtattfindet, kann man überzeugt ſeyn, daß ſie bis zu derſelben Gränze geladen war.

Die Entfernung, auf welche der Entladungsfunken überſpringt, die Schlagweite, iſt ein Maaß für die Ladung der Flaſche. Lane fand, daß bei gleichmäßigem Drehen der Elektriſirmaſchine, welche die Flaſche ladet, die Entladungen noch einmal ſo häufig ſind, wenn die Kugel *b* nur $1/2'''$ weit von der Kugel entfernt war, als wenn dieſe Entfernung $1'''$ betrug. Harris und Rieß beſtätigten dies und fanden ferner, daß die Schlagweite einer Flaſche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional ſey, daß alſo für eine Batterie von 2, 3, 4 u. ſ. w. ganz gleichen Flaſchen eine 2=, 3=, 4mal ſo große Elektricitätsmenge zugeführt werden muß, als einer einzigen dieſer Flaſchen, wenn die Schlagweite unverändert bleiben ſoll.

Rieß wendet die Lane'ſche Flaſche an, um die Quantität der Elektricität zu meſſen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu dieſem Zwecke ſtellte er die Batterie auf ein durch Glasfüße iſolirtes Geſtell und ſetzte die äußere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'ſchen Flaſche, die äußere Belegung der Lane'ſchen Flaſche aber mit einer großen uniſolirten Metalloberfläche in leitende Verbindung. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektriſirmaſchine Elektricität zugeführt, ſo wird die abgeſtoßene poſitive Elektricität von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'ſchen Flaſche wandern und dadurch eine Ladung derſelben bewirkt werden; hat aber dieſe Ladung eine gewiſſe Gränze erreicht, ſo folgt eine Entladung der Lane'ſchen Flaſche. So oft nun bei fortgeſetztem Drehen der Maſchine eine Entladung der Lane'ſchen Flaſche erfolgt, ſo oft iſt von der äußeren Belegung der Batterie dieſelbe Menge poſitiver Elektricität zu der Maaßflaſche übergegangen, ſo oft iſt alſo auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie iſt alſo der Anzahl der Selbſtentladungen der Maaßflaſche proportional.

Nachdem ſich Rieß auf dieſe Weiſe ein genaues Maaß für die Ladung der Batterie verſchafft hatte, konnte er auch über die Wirkungen des Entladungsſchlages genauere Verſuche anſtellen.

Um die Geſetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsſchlag zu ermitteln, wandte er ein ſchon von Harris zu dieſem Zwecke conſtruirtes Luftthermometer an, durch deſſen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsſchlages eingeſchaltet wurde. Aus einer Reihe von Verſuchen, bei denen bald die Größe der Ladung, bald die Anzahl der Flaſchen (die aber alle unter ſich gleich waren)

verändert wurde, ergab ſich, daß die Erwärmung des Drahtes dem Quadrate der Elektricitätsmenge proportional iſt, mit welcher die Batterie geladen iſt, ſich aber umgekehrt wie die Oberfläche verhält, auf welche dieſe Elektricitätsmenge vertheilt war. Wenn alſo eine und dieſelbe Flaſche oder eine und dieſelbe Batterie mit der doppelten, dreifachen u ſ. w. Elektricitätsmenge geladen wird, ſo iſt die Erwärmung, welche der Entladungsſchlag in einem dünnen Drahte hervorbringt, 4mal, 9mal u. ſ. w. ſo groß. Wenn man aber 2, 3 u. ſ. w. gleiche Flaſchen mit derſelben Elektricitätsmenge ladet, ſo wird die Erwärmung des Drahtes durch den Entladungsſchlag 2mal, 3mal u. ſ. w. geringer ſeyn, als wenn mit derſelben Elektricitätsmenge nur eine ſolche Flaſche geladen geweſen wäre.

Rieß fand ferner, daß die Temperaturerhöhungen verſchiedener gleich langer Drähte deſſelben Metalls ſich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmeſſer oder, daß die in den Drähten frei gewordenen Wärmemengen den Querſchnitten derſelben umgekehrt proportional ſind.

In einem 2mal, 3mal u. ſ. w. dickeren Drahte wird alſo derſelbe Entladungsſchlag eine 16mal, 81mal u. ſ. w. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Maſſen dieſer Drähte 4mal, 9mal größer ſind, ſo iſt klar, daß die in demſelben frei werdende Wärmemenge 4mal, 9mal u. ſ. w. geringer iſt als in einem Drahte von einfacher Dicke.

Wenn der Draht in der Thermometerkugel unverändert bleibt, ſo wird bei Entladung derſelben elektriſchen Ladung die Erwärmung des Drahtes in der Kugel um ſo geringer, je länger man den Schließungsbogen macht und je dünnere Drähte man in denſelben einſchaltet; es iſt dies wohl, wie Rieß ſehr wahrſcheinlich gemacht hat, nur die Folge davon, daß durch Einſchaltung von dünnen Drähten ſowohl als auch durch Verlängerung des Schließungsbogens die Entladung verzögert wird.

Wenn in den Schließungsbogen der Reihe nach mittelſt eines Henley'ſchen Ausladers gleich lange und gleich dicke Drähte verſchiedener Metalle eingeſchaltet werden, ſo wird durch Entladung gleicher Ladungen der Batterie der Draht in der Thermometerkugel ſehr ungleiche Erwärmungen erfahren, die eingeſchalteten Drahtſtücke verzögern alſo die Entladung nicht gleich ſtark. Hat man einmal einen Kupferdraht, dann einen Platindraht von gleicher Länge und Dicke eingeſchaltet, ſo wird für den Kupferdraht eine ſtärkere Erwärmung in der Thermometerkugel wahrgenommen werden; wenn man aber bei gleicher Dicke den Platindraht im Auslader 6,44mal kürzer macht als den Kupferdraht, ſo beobachtet man unter ſonſt gleichen Umſtänden für beide eine gleich ungleiche Temperaturerhöhung des Platindrahtes in der Thermometerkugel; ein Platindraht verzögert alſo die elektriſche Entladung gerade eben ſo ſtark, wie ein gleich dicker, 6,44mal längerer Kupferdraht, der Platin hat alſo eine 6,44mal

ſtärkere Verzögerungskraft als das Kupfer, oder auch die Leitungsfähigkeit des Platins iſt 6,44mal geringer als die des Kupfers.

Rieß hat die Leitungsfähigkeit verſchiedener Metalle durch zahlreiche Verſuche ermittelt, welche ſich auf das eben angedeutete Princip ſtützen. Wir werden weiter unten ausführlicher von dem Leitungsvermögen der Metalle reden.

Es ſind ſchon früher im Allgemeinen die Wirkungen angeführt worden, welche ein ſtarker Entladungsſchlag hervorbringt, wenn er durch einen dünnen Metalldraht hindurchgeführt wird. Auch dieſe Effecte hat Rieß einer genaueren Prüfung unterworfen und hat gezeigt, daß die Schmelzung nicht eine directe Wirkung der Erwärmung durch den Entladungsſchlag ſeyn kann. Von ſeinen Beobachtungen der Temperaturerhöhung etwas dickerer Drähte für ſchwächere Ladungen ausgehend, konnte Rieß die Temperaturerhöhung eines dünnen Drahtes bei ſtärkerer Ladung berechnen, es ergab ſich durch dieſe Rechnung 211° für die Temperaturerhöhung eines Platindrahtes für einen Entladungsſchlag, welcher den Draht ſchmolz. Eine ſolche Temperatur iſt aber nicht zum Glühen, viel weniger zum Schmelzen des Platins hinreichend; das Metall ſchmilzt ſchon, ehe es durch Steigerung ſeiner Temperatur ſchmelzen würde, in der Schmelzung erkennt deshalb Rieß eine elektriſche Wirkung, die von der Erwärmung durch Elektricität getrennt iſt.

Bei fortgeſetzter Steigerung der Ladung treten noch vor dem Eintreten des Glühens eine Reihe von Erſcheinungen am Drahte auf, welche auf ein gewaltſames Eindringen, auf eine mechaniſche Wirkung von Elektricität hindeuten. Der Draht wird ſichtbar erſchüttert, es treten kleine Funken an ſeinen Enden auf, es werden von ſeiner Oberfläche Theilchen losgeriſſen, die ſich in Geſtalt eines dichten Dampfes von ihm erheben, der Draht erhält ſcharfe Einbiegungen, die mit der Stärke der Ladung an Zahl und Stärke zunehmen, endlich bei immer mehr geſteigerter Ladung wird er rothglühend, weißglühend, er wird zerriſſen und zerſplittert. Bei Platindrähten zeigen die Stücke oft noch gar keine Schmelzung, die erſt bei noch ſtärkeren Ladungen auftritt; die Zerreißung geht alſo der Schmelzung voran. Bei leicht oxydirbaren Metallen ſteigert ſich die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerſtoff, und dieſe erhöhte Temperatur erleichtert dann auch die Schmelzung. Ueberall, wo die elektriſche Schmelzung eintritt, iſt eine mechaniſche Trennung der geſchmolzenen Maſſe ſichtbar, die Schmelzung kann daher nur als Wirkung der Hitze auf ſehr fein zertheiltes Metall betrachtet werden. Die Elektricität ſchmilzt die Metalle durch gleichzeitige Zerſplitterung und Erhitzung.

Die Lichtenbergiſchen Figuren,

welche einen charakteriſtiſchen Unterſchied zwiſchen den beiden Elektricitäten anzudeuten ſcheinen, laſſen ſich beſonders gut mit der Leidner Flaſche darſtellen. Man lade die innere Belegung mit poſitiver Elektricität und laſſe dann einen Funken vom Knopf auf eine dünne Harzſcheibe ſchlagen. Wenn man dann die Harzſcheibe mit einem Staube pudert, welcher geneigt iſt, die negative Elektricität anzunehmen (wie semen licopodii, gepulvertes Colophonium u. ſ. w.), ſo zeigt der Staub die Form eines ſtrahlenförmigen Sternes. Ladet man aber die innere Belegung mit negativer Elektricität, läßt man auf eine zweite Harzſcheibe den negativen Funken vom Knopfe überſchlagen, ſo bildet der aufgepuderte Staub ſtrahlenloſe Ringe oder Zonen. Man bedient ſich zu den negativen Figuren am beſten eines Staubes, der leicht poſitiv elektriſch wird wie fein zerriebener Mennig.

Lichtenberg ſetzte, um dieſe Figuren zu erhalten, ein Metallrohr auf die Harzplatte und ließ auf dieſes den elektriſchen Funken ſchlagen. Ein poſitiver Funke liefert eine ſtrahlige Figur, Fig. 54, ein negativer eine ringförmige, Fig. 53. Das anzuwendende Pulver muß recht fein ſeyn

Fig. 53.

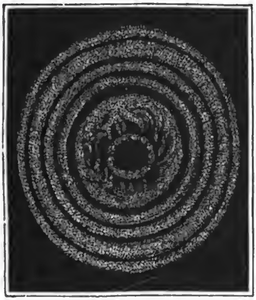
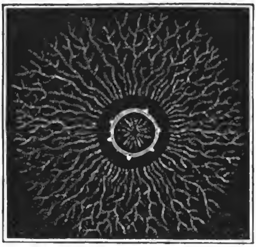


Fig. 54.



und wird am beſten durch recht feine Leinwand durchgebeutelt. Das Pulver wird durch Reibung an den Oeffnungen der Leinwand elektriſch und ſetzt ſich auf denjenigen Stellen der Harztafel ab, welche die entgegengeſetzte Elektricität haben.

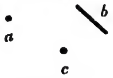
Geſchwindigkeit der Elektricität.

Mit Hülfe der Leidner Flaſche hat man die Geſchwindigkeit zu beſtimmen geſucht, mit welcher ſich das elektriſche Fluidum durch die Körper verbreitet. Iſolirte Metalldrähte, die eine Geſammtlänge von einer halben Meile haben, werden von dem Entladungsſchlage momentan durchlaufen. Dieſe Verſuche wurden in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angeſtellt. In dieſer Zeit ſtellte man auch Verſuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Waſſer und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toiſen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trocknem Holze iſolirt, über ein Terrain von ſehr abwechſelnder Natur und über Flüſſe hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden geſteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flaſche auf den Boden geſtellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektriſche Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demſelben zur äußeren Belegung der Flaſche zurückzukehren.

Der Länge des Weges und der mannigfachen Hinderniſſe ungeachtet, erfolgte die Entladung der Flaſche ebenſo momentan, als ob man einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte.

Ueber die *Geſchwindigkeit der Elektricität* ſowohl als auch über die *Dauer des elektriſchen Lichtes* hat *Wheatſtone* wichtige Unterſuchungen angeſtellt, von denen hier das Weſentlichſte folgt.

Fig. 55.



In Fig. 55 ſey *a* ein leuchtender Punkt, etwa eine Kerze, *b* ſey ein ebener Spiegel, deſſen Ebene vertikal ſteht, und welcher um eine vertikale Axe drehbar iſt, *c* endlich ſey das Auge des Beobachters; *abc* ſollen in einer Horizontalebene liegen. Wenn der Spiegel ruhig ſteht, ſieht das Auge *c* das Bild des Punktes *a* im Spiegel *b* an einer beſtimmten Stelle, die ſich ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; iſt die Drehung raſch genug, ſo erſcheint ſtatt des Kerzenbildes ein Lichtſtreif, indem der Lichteindruck von allen den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, nach einer Zeitlang im Auge noch wirkt, und man ſo den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es ſchon an einer ganz anderen Stelle angekommen iſt.

Wenn man nun dafür ſorgt, daß an der Stelle der Kerze ein elektriſcher Funken überſpringt, ſo wird bei raſcher Rotation des Spiegels das Bild des Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erſcheinen, wenn der elektriſche Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einen rotirenden Apparat ſo befeſtigt, daß er 50 Umdrehungen in einer Sekunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte alſo der Spiegel $\frac{1}{50.360}$tel, und alſo um einen Winkel von $\frac{1}{2}^0$ zu durchlaufen, $\frac{1}{36000}$tel Sekunde. Nun aber iſt den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeſchwindigkeit des Bildes doppelt ſo groß als die des Spiegels, folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$tel Sekunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück, wenn alſo die Dauer des elektriſchen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$tel Sekunde betrüge, ſo müßte ſchon ſein Bild im rotirenden Spiegel als ein $\frac{1}{2}^0$ breiter Streifen erſcheinen.

Nach einander bot nun Wheatſtone in einer Entfernung von 10 Fuß dem Spiegel 4 Zoll lange Funken einer Elektriſirmaſchine dar, ferner Entladungen einer Leidner Flaſche, ein 4 Fuß langes Glasrohr, worin der elektriſche Funken längs einer ſchraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überſpringen mußte, ein luftleeres Glasrohr von 6′ Länge, in welchem der Funken beim Durchgang eine ununterbrochene Linie von geſchwächtem elektriſchen Lichte erzeugte u. ſ. w. Allein in allen dieſen Fällen erſchienen die reflectirten Bilder, wenn ſie innerhalb des Geſichtsfeldes auftraten, vollkommen umgeändert und genau auf eben die Weiſe, als ob ſie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines ſolchen elektriſchen Funkens beträgt alſo ſicherlich nicht $\frac{1}{72000}$tel Sekunde.

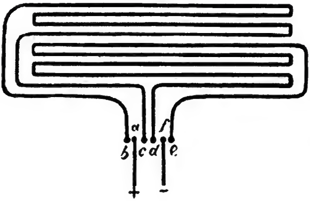
Wenn ein Rad raſch umgedreht wird, ſo kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterſcheiden, wenn aber ein raſch rotirendes Rad in einem dunklen Zimmer plötzlich durch einen elektriſchen Funken erleuchtet wird, ſo unterſcheidet man die einzelnen Speichen deutlich, als wenn das Rad ganz in Ruhe wäre.

Hält man eine evacuirte Röhre nahe an den Conductor der Elektriſirmaſchine, ſo erblickt man zuweilen einen zuſammenhängenden Lichtſtrom, unterſucht man aber denſelben in dem Spiegel, ſo findet man, daß dieſe Continuität nur ſcheinbar iſt und von einer raſchen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Wheatſtone wandte den rotirenden Spiegel auch an, um die Geſchwindigkeit zu ermitteln, mit welcher die Elektricität einen ſehr langen Leiter durchläuft. Die Vorrichtung, die er dazu angewandt hat, war ungefähr folgende:

Auf einem 3½ Zoll im Durchmeſſer haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren 6 Kugeln, *abcde* und *f* (Fig. 56) gehörig iſolirt befeſtigt. An der Kugel *a* war ein Draht befeſtigt, welcher mit der inneren Belegung einer Leidner Flaſche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 0,1 Zoll entfernt, von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*. Die Kugel *d* war nun ebenfalls 0,1 Zoll von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*, welcher in einer Entfernung von 0,1 Zoll die Kugel *f* gegenüberſtand, von welcher endlich ein Draht zur äußern Belegung der Flaſche führte. Wenn nun der letzterwähnte Draht wirklich die äußere Belegung der geladenen Flaſche berührt, ſo mußte, wenn man mit dem an *a* befeſtigten Drahte die Kugel der Flaſche berührte, ein Funken zwiſchen *a* und *b*, ein zweiter zwiſchen *c* und *d*, ein dritter zwiſchen *e* und *f* überſpringen.

Fig. 56.



Es fragt ſich nun, ſind dieſe 3 Funken vollkommen gleichzeitig, auch wenn die Länge der Drahtwindungen ſehr bedeutend iſt?

Bei den von Wheatſtone angeſtellten Verſuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwiſchen *b* und *c* ¼ engliſche Meile. Ebenſo lang war die Länge des Drahtes zweiſchen *d* und *e*, ſo daß der Weg, welchen der elektriſche Strom von der inneren zu der äußeren Belegung zu durchlaufen hatte, ½ engliſche Meile betrug.

Die 6 Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuß vom Funkenbrett entfernt in gleicher Höhe mit demſelben war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel angebracht. Diesmal war die Rotationsaxe wagerecht und den 6 Kugeln parallel. Der Beobachter ſtellte ſich ſo, daß die Rotationsaxe gerade gegen ihn gerichtet war, und ſah dann von oben auf den Spiegel herab. Die Kugeln oder vielmehr die zwiſchen ihnen überſpringenden Funken waren alſo ſichtbar, wenn der Spiegel gerade einen Winkel von 45° mit der Horizontalen machte. Wäre der Spiegel in dieſer Stellung ruhig ſtehen geblieben, ſo würde man die Bilder der drei Funken ſo ⁝ geſehen haben, bei raſcher Rotation aber erſcheinen alle drei in die Länge gezogen, und außerdem erſchien die mittlere noch gegen die äußeren verrückt, und zwar ſo ═══, wenn der Spiegel von der rechten zur linken rotirte, und ſo ═══, wenn die Richtung der Rotation die entgegengeſetzte war.

Daraus ergeben ſich nun folgende wichtige Reſultate:

1) Wenn der Entladungsdraht ſehr lang iſt, ſo erfolgt keine momentane, ſondern eine ſucceſſive Entladung, weshalb die Funken in die Länge gezogen erſcheinen.

2) Da die beiden äußeren Funken im Spiegelbilde ihre gegenſeitige Lage behalten, ſo erſcheinen alſo die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektriſche Strom beginnt alſo gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funken erſcheint aber ſpäter, da ſein Bild gegen das der äußeren Funken verrückt erſcheint.

Bei dieſem Rotationsapparate machte der Spiegel 800 Umdrehungen in der Sekunde, woraus folgt, daß, wenn der Funken nur einen Beſtand von $\frac{1}{1152000}$ Sekunde hat, er um einen halben Grad verlängert erſcheinen muß, alſo ungefähr ſo lang, wie ein Zoll in einer Entfernung von 10 Fuß erſcheint.

Die Verſchiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äußeren betrug ungefähr $\frac{1}{2}^0$, der mittlere Funken erſchien alſo ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Sekunde ſpäter als die beiden äußeren, in dieſer Zeit hatte alſo der elektriſche Strom einen Weg von $\frac{1}{4}$ engliſchen Meile zurückgelegt, in einer Sekunde legt er alſo einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ engliſchen Meilen zurück, eine Geſchwindigkeit, welche größer iſt, als die des Lichtes im Weltraum, welches in einer Sekunde nur 194000 engliſche Meilen durchläuft.

Vom Galvanismus.

Die wichtigſten Formen der galvaniſchen Kette ſind in der erſten Auflage ſchon ziemlich ausführlich beſchrieben, ſie hat jedoch in der letzten Zeit manche wichtige Verbeſſerung erfahren, ſo daß auch hier begreiflicher Weiſe Nachträge zu machen ſind.

Die Form der Grove'ſchen Batterie, wie ſie Seite 453 beſchrieben iſt, iſt ſehr unbequem. Eine weit bequemere Form derſelben iſt Fig. 57 und 58 dargeſtellt.

Fig 57.

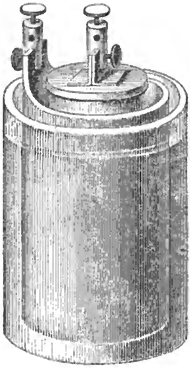


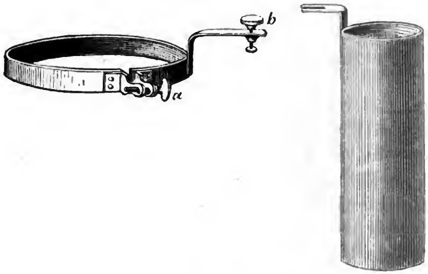
Fig. 58.

In einem runden Glasgefäße, welches verdünnte Schwefelſäure enthält, ſteht der hohle Zinncylinder z. Innerhalb deſſelben ſteht ein hohler Cylinder von poröſem Thon, deſſen Boden aber geſchloſſen iſt. Dieſer Thoncylinder, welcher alſo ein Gefäß bildet, welches Flüſſigkeit durchſickern läßt, wird mit Salpeterſäure gefüllt, in welche das Platinblech eingetaucht wird. Das Platinblech iſt, wie man aus Fig. 58 deutlicher ſieht, an einem runden Brettchen befeſtigt, welches gleichſam den Deckel für die Thonzelle bildet. In dieſem Deckel ſteckt ein Stückchen Kupferblech, an welchem unten das Platinblech befeſtigt iſt, während oben eine Meſſingklammer aufgeſchraubt wird. Eine ähnliche Meſſingklammer ſitzt auf dem Zinkcylinder. Dieſe Klammern haben oben runde Löcher, in welche man Draht einſtecken und durch die obere Schraube feſt einklemmen kann; mit Hülfe dieſer Klammer kann man nun leicht das Platinblech des einen Elementes mit dem Zink des folgenden verbinden und ſo die einzelnen Elemente gleichſam zur Säule vereinigen. Verbindet man dagegen durch einen Kupferdraht alle Zinkcylinder, durch einen zweiten alle Platinbleche, ſo erhält man eine Combination, welche wirkt wie ein Element von ſehr großer Oberfläche.

Auch die Bunſen'ſche Batterie hat bedeutende Verbeſſerungen erfahren. Bei der auf Seite 453 beſchriebenen Einrichtung der Bunſen'ſchen Kette iſt es ein Uebelſtand, daß der Zinkcylinder in dem einen Glaſe mit dem Ringe, welcher die Kohle des nächſten Glaſes umfaßt, in feſter Verbindung ſteht; dadurch wird es nämlich unmöglich, irgend einen Zinkcylinder aus der Flüſſigkeit herauszuheben, ohne die ganze Kette vom negativen Pole an auseinander zu nehmen; alsdann iſt es bei dieſer Einrichtung unmöglich, die einzelnen Elemente unter ſich ſo zu combiniren, daß alle Kohlencylinder und dann alle Zinkcylinder mit einander verbunden ſind, ſo daß man gleichſam ein Element von ſehr großer Oberfläche erhält. Dieſe Nachtheile werden durch folgende Einrichtung gehoben. Statt des Zinkringes *a* in Fig. 413 wird ein Kupferring, welcher Fig. 59 dargeſtellt iſt, um den Kohlencylinder gelegt, und ein feſtes Anſchließen durch die Schraube

a bewirkt; an dieſen Kupferring iſt ein Kupferſtreifen angenietet, an deſſen Ende ſich eine Schraube *b* befindet. An den Zinkcylinder iſt ein Kupferbügel angelöthet, deſſen Ende eingeſchlitzt iſt, ſo daß man den Zinkſtreifen leicht zwiſchen dem Ende des Kupferſtreifens und dem Kopfe der Schraube *b* feſtklemmen kann, wodurch dann der Ring mit dem Zinkcylinder verbunden iſt.

Fig. 59.



Der letzte Kupferring, welcher den poſitiven, und der letzte Zinkcylinder, welcher den negativen Pol bildet, ſind mit längeren Kupferſtreifen verſehen.

Fig. 60.

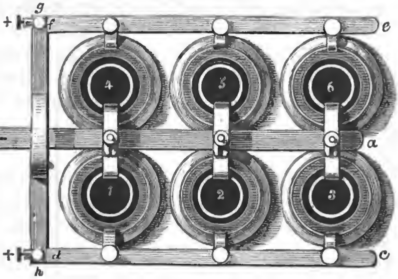


Fig. 60 zeigt 6 Elemente, welche ſo verbunden ſind, daß einerſeits alle Kohlen-, und andererſeits alle Zinkcylinder verbunden ſind, eine Combination welche ebenſo wirkt, wie ein einziges Element von 6facher Oberfläche. In Fig. 61 ſieht man deutlicher, auf welche Weiſe der Kupferſtreifen *a b* zwiſchen die Kupferbügel je zweier Zinkcylinder eingeklemmt iſt. Der Kupferſtreifen *cd* iſt zwiſchen den Enden der an den Kupferringen der Elemente 1, 2 und 3 befeſtigte Kupferſtreifen eingeklemmt; auf dieſelbe Weiſe verbindet der Kupferſtreifen *ef* die Kohlen der Elemente 4, 5 und 6. An den Stellen, wo die Kupferſtreifen *cd* und *ef* eingeklemmt werden, ſind ſie natürlich rechtwinklig auf ihre

Fig. 61.

Längenrichtung bis zur Mitte eingeſchlitzt, ähnlich wie dies bei den Kupferbügel der Fall iſt, welche ſich an den Zinkcylindern befinden.

Der Kupferſtreifen *ef* iſt endlich mit *cd* durch einen Kupferſtreifen *gh* verbunden, welcher in der Mitte in die Höhe gebogen iſt, damit er *a b* nicht berührt.

Die Tangentenbouſſole.

In der dritten Auflage iſt die Theorie der Sinus und Tangentenbouſſole, wie es auch naturgemäß iſt, gleich bei der magnetiſchen Wirkung des Stromes beſprochen worden, ſie müßte demgemäß in der erſten Auflage gleich nach Nro. 233 am Schluſſe von Seite 482 folgen; hier mag deshalb gleich einiges Platz finden, was in Beziehung auf die Tangentenbouſſole nachzutragen iſt.

Fig. 62 ſtellt eine einfachere Form der Tangentenbouſſole dar, als die welche auf Seite 565 beſchrieben iſt. Ohne vor der Hand die Einrichtung des Apparates näher zu betrachten, wollen wir unterſuchen, welche Bezie-

Fig. 63.

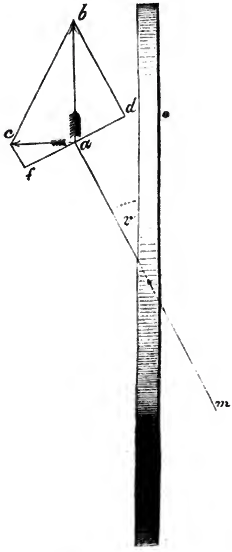
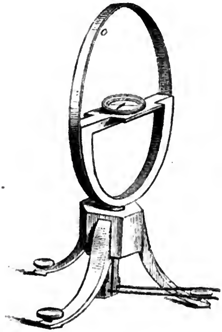


Fig. 62.



hung zwiſchen der Stromſtärke und dem Ablenkungswinkel beſteht, wenn die Ebene des Kupferrings mit dem magnetiſchen Meridian zuſammenfällt.

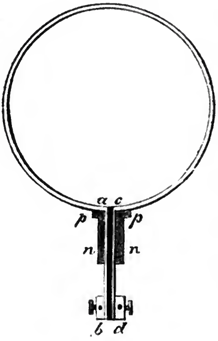
In Fig. 63 ſtelle der ſchattirte Streifen den Ring von oben geſehen, am die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu groß gezeichnet iſt, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein iſt gegen den Durchmeſſer des Kreiſes, ſo iſt die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter vom Kupferring entfernt, als wenn ſie gar nicht abgelenkt wäre, man kann alſo dieſe Zunahme der Entfernung ganz unberückſichtigt laſſen.

Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an, die magnetiſche Erdkraft ab, in der Richtung des Meridians wirkend, ſtrebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Beſtreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian zu ſtellen, er wirkt in der Richtung ac auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von ab und ac ſind nun ad und af, die Nadel wird in Ruhe ſeyn, wenn $ad = af$. Nun iſt der Winkel $caf =$ dem Ablenkungswinkel v der Nadel, weil ca auf dem magnetiſchen Meridian, af auf der Nadel rechtwinklig ſteht, folglich iſt $af = ac \,.\, cos. v$. Ferner iſt auch Winkel $abd = v$, weil ab mit dem magnetiſchen Meridian und bd mit der Nadel parallel iſt und demnach iſt $ad = ab \,.\, sin. v$; da aber $ad = af$, ſo iſt auch $ac \,.\, cos. v = ab \,.\, sin. v$ oder $ac = ab \,.\, tang. v$ oder endlich

$$S = R \,.\, tang. v,$$

wenn man mit S die Stromkraft ac, mit R die magnetiſche Erdkraft bezeichnet. Bei dieſem Inſtrumente iſt alſo die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, daher der Name **Tangentenbouſſole**.

Fig. 64.



Die Einrichtung der Tangentenbouſſole iſt aus Figur 64 deutlicher zu erſehen. Die beiden Enden ab und cd des ringförmig gebogenen Kupferſtreifens laufen parallel neben einander her und ſind durch einen iſolirenden Streifen von Elfenbein oder trocknem Holze getrennt. Bei b und bei d iſt ein Meſſingſtück angeſetzt, in welches man die von den beiden Polen der Kette kommenden Leitungsdrähte einſchraubt. Wenn der poſitive Strom bei b eintritt, ſo geht er von b nach a, von da im Ring herum nach c, von c nach d, um von da zum negativen Pol der Kette zu gehen.

Dicht unter $a\,c$ gehen die parallelen Kupferſtreifen ſammt dem ſie trennenden Holzſtreifen durch einen Holzcylinder $n\,n$ hindurch, in dem ſie ganz feſtſtecken, und welcher oben mit einer etwas breiteren Platte $p\,p$ endigt. Dieſer Holzcylinder $n\,n$ paßt genau in eine Höhlung des Statifs, die Platte p verhindert ein zu tiefes Einſinken in dieſe Höhlung. Der Holzcylinder $n\,n$ läßt ſich nun ſammt dem Kupferring mit ſanfter Reibung um ſeine vertikale Axe umdrehen, wodurch es leicht wird, den Ring genau ſo zu richten, daß ſeine Ebene in den magnetiſchen Meridian fällt.

Die Magnetnadel kann etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll lang ſeyn und der Durchmeſſer des Ringes 8 bis 16 Zoll betragen.

Die Länge der Nadel darf höchſtens $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ des Ringdurchmeſſers betragen; je kleiner ſie im Vergleich zu dieſem iſt, deſto genauer iſt die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner aber die Nadel wird, deſto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung ablieſt, wenn der Radius des getheilten Kreiſes der halben Länge der Nadel gleich iſt. Um aber, wenn große Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem großen Theilkreiſe zu verbinden, befeſtigt man an die Nadel feine Glasfäden, wo möglich von dunkelfarbigem Glaſe, ſo daß ſie in der Verlängerung der magnetiſchen Axe der Nadel liegen, und bis zu der Theilung hinreichen. Am leichteſten läßt ſich dies machen, wenn der Querſchnitt der Nadel die Geſtalt Fig. 65 hat, ſo daß man die Glasfäden in der Rinne auf der oberen Seite der Nadel einlegen und ankitten kann.

Fig. 65.

Eine ſehr genaue Ableſung wird auch dadurch möglich, daß der Boden der Bouſſole ein Spiegel iſt; das Auge iſt nur dann in die zum Ableſen richtige Stellung, wenn die Spitze der Nadel mit ihrem Spiegelbilde zuſammenfällt.

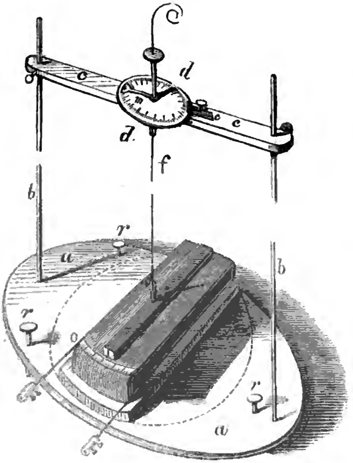
Mohr's Torſionsgalvanometer.

Die Sinusbouſſole ſowohl als auch die Tangentenbouſſole, welche die einzigen Inſtrumente ſind, welche man bis jetzt zur Meſſung der galvaniſchen Stromſtärke anwandte, leiden noch an mehrfachen Uebelſtänden. Die Stromſtärke iſt bekanntlich nicht der an der Sinus- und Tangentenbouſſole abgeleſenen Gradzahl, ſondern einer trigonometriſchen Function dieſer Gradzahl proportional, man kann alſo aus den beobachteten Zahlen nur mit Hülfe von trigonometriſchen Tabellen auf die Stromſtärke ſchließen. In Folge davon, daß die Stromſtärke nicht dem Ablenkungswinkel proportional iſt, entſprechen nun auch gleiche Differenzen in der Gradzahl an verſchiedenen Stellen der Theilung nicht gleichen Differenzen der Stromſtärke; die Genauigkeit der Angaben iſt alſo für verſchieden

ſtarke Ströme nicht mehr gleich. Für die Tangentenbouſſole ſind die Angaben für Ströme, welche nur eine geringe Ablenkung hervorbringen, weit genauer als für ſtärkere Ströme; bei der Sinusbouſſole iſt es umgekehrt. Die Ungleichheit der Genauigkeit der Angaben bei ungleichen Stromſtärken iſt namentlich bei den Tangentenbouſſolen ſehr bedeutend, indem bei ſtarken Ablenkungen eine ſehr große Veränderung der Stromſtärke doch nur eine unbedeutende Veränderung im Ablenkungswinkel zur Folge hat. Die Sinusbouſſole iſt für ſtärkere Ströme gar nicht mehr anwendbar, weil die Nadel gar bald rechtwinklig auf dem Meridian ſteht. Von allen dieſen Uebelſtänden iſt M o h r's Torſionsgalvanometer frei, welches ſich auch dadurch auszeichnet, daß ſeine Conſtruction einfach und leicht auszuführen iſt.

Bei der Aufſuchung einer paſſenden Torſionsſubſtanz traten mehrere Schwierigkeiten entgegen. Seidenfäden haben zu wenig Kraft, Glasfäden zerbrechen bei einigen Windungen, oder ſind ſo dünn, daß ſie keine ſtarke Nadeln tragen. Drähte von Silber, Platin, Eiſen haben nicht Elaſticität genug, um nach mehreren Umdrehungen genau wieder auf 0 zu kommen. Die einzige allen Anforderungen entſprechende Subſtanz war eine gerade geſtreckte Uhrfeder. Sie iſt bei ½ Meter Länge bis zu drei und vier ganzen Umwindungen vollkommen elaſtiſch, d. h. ſie kommt nach dem Nachlaſſen genau wieder auf 0 zurück; ſie beſitzt Feſtigkeit genug, um einer anſehnlichen Drehkraft zu widerſtehen. Nachdem dieſe Subſtanz als tauglich befunden war, wurde die Anfertigung des ganzen Inſtrumentes unternommen.

Fig. 66.



Daſſelbe iſt in Fig. 66 abgebildet.

Auf einem ovalen Brette *a a* von Holz von 550^{mm} und 320^{mm} Durchmeſſer ſind in einer Entfernung von 480^{mm} zwei eiſerne oder meſſingene Ständer *bb* von 10^{mm} Dicke und 650^{mm} Höhe aufgerichtet. Auf dieſen Ständern bewegt ſich das hölzerne Brettchen *cc*, deſſen 3 Dimenſionen 550^{mm}, 60^{mm} und 25^{mm} ſind. Es wird durch zwei

Stellſchrauben an die Ständer auf jeder beliebigen Höhe feſtgeklemmt. Die Mitte des Brettchens *cc* wird genau geſucht, und indem man es über die Ständer *bb* auf das Brett *aa* herabläßt, auch auf dieſes genau übertragen. Das Geſtell iſt alsdann centrirt.

Auf dem Brettchen *cc* bewegt ſich mit einem Anſatz in einem Loche ein Theilkreis *d* von 160ᵐᵐ Durchmeſſer. Er hat eine Theilung in Grade und der Nonius giebt zehntel Grade an. Durch die Arretirung *e* kann er geſtellt werden. Mitten durch den Theilkreis und das Brettchen *c* geht ein meſſingenes Röhrchen von 3ᵐᵐ Oeffnung und geringer Wanddicke. Es trägt auf ſeiner Mitte den Zeiger mit Nonius *m*, und an ſeinem oberen Ende eine runde Scheibe mit gerieftem Rande von 50ᵐᵐ Durchmeſſer, um mit der Hand erfaßt und gedreht zu werden. In das untere Ende der meſſingenen Röhre wird mit feſter Reibung eine hohle Klammer eingeſchoben, welche von außen durch eine in einem Ringe befindliche Schraube geſchloſſen werden kann. Durch die Klammer und die meſſingene Röhre und Griffſcheibe geht die Uhrfeder hindurch und ragt nach oben heraus, um ſie nöthigenfalls noch verlängern zu können. Auch kann man das meſſingene Röhrchen ſelbſt zu einer Klammer einrichten, dadurch, daß man es aufſägt, die beiden Hälften mit eingelöthetem Halbcylinderchen von Meſſing ausfüllt, und nun einen Klemmring mit Schraube enge darüber ſchiebt.

An der Uhrfeder hängt ebenfalls mit einer Klemmſchraube das Paar aſtatiſcher Nadeln. Sie ſind aus gutem Stahle gefertigt und ſehr hart gehärtet, damit ſie ihre magnetiſche Kraft nicht verlieren. Ihre Form iſt parallelipipediſch, ihre Dimenſionen ſind:

240ᵐᵐ, 14ᵐᵐ und 6ᵐᵐ.

Ihre lichte Entfernung von einander iſt 42ᵐᵐ. Sie ſind durch einen meſſingenen Draht verbunden, deſſen Schraubengewinde in Muttern, die mitten in die Magnetnadel geſchnitten ſind, paſſen. Dieſe Nadeln haben einen anſehnlichen Körper, um genügende Drehkraft für die Uhrfeder *f* erzeugen zu können. Sie werden möglichſt ſtark magnetiſirt. Die Uhrfeder hat eine freie Länge von $\frac{1}{3}$ bis zu $\frac{1}{2}$ Meter, eine Breite von $1\frac{1}{2}$ᵐᵐ und eine Dicke von $\frac{1}{4}$ᵐᵐ.

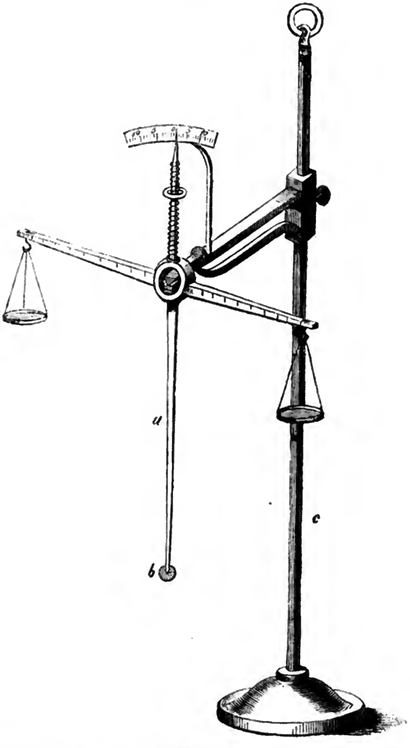
Die aſtatiſchen Nadeln ſchweben in einem Drahtgewinde, welches aus 3ᵐᵐ dickem überſponnenem Kupferdraht beſteht, der in 30 Windungen über ein 100ᵐᵐ breites Rähmchen von dünnem Nußbaumholz ſauber gewickelt iſt. In der Mitte der oberen Lage iſt ein 8ᵐᵐ weites Loch zum Durchgange des Verbindungsdrahtes beider Nadeln. Die Drähte werden hier durch Stücke von Korkſtopfen auseinander gehalten. Die Enden des Leitungsdrahtes gehen nach derſelben Seite heraus und ſind mit Schraubenklammern verſehen.

Da die Nadel aſtatiſch iſt, ſo wird ſie ſich ſo ſtellen, daß die Feder *f* keine Torſion hat. Man ſtellt erſt den Zeiger *m* auf dem Gradbogen *d* auf Null und läßt die Nadeln zur Ruhe kommen, nun dreht man das Drahtgewinde ſo lange herum, bis die Nadeln genau in der Mitte des Gradbogens *o* ſtehen. Um dies leicht zu können, läßt ſich das Brettchen, worauf das Drahtgewinde befeſtigt iſt, um einen Stift drehen, der genau im Mittelpunkte des Brettes *a* hervorragt, und alſo ſenkrecht unter der Torſionsfeder *f* iſt. Mit Hülfe der drei Schrauben *rrr* richtet man das Brett *a* ſo, daß der meſſingene Verbindungsdraht der beiden Nadeln in der Mitte des 8^{mm} weiten Loches ſchwebt. Er berührt deſſen Wände nirgend, und die Nadel kann ſich ebenſowohl ohne Reibung drehen, als man auch das Drahtgewinde drehen kann, ohne die Nadel mitzunehmen. Den richtigen Stand der Nadel in der Ruhe, auf welchen ſie bei jedem Verſuche zurückgeführt werden muß, erkennt man an dem kleinen Gradbogen *o* auf Papier oder verſilbertem Meſſing, welcher unter der Nadel auf das Drahtgewinde befeſtigt iſt. Die vordere ſenkrechte Fläche der oberen Nadel iſt glänzend polirt und trägt in der Mitte einen ſenkrechten Strich, der vor dem Härten hineingravirt oder geritzt wurde. Der mittlere Strich der Scala iſt ebenfalls ſtark durchgezogen. In einer gewiſſen Höhe ſieht man die Scala des Kreisbogens ſich im Kopfe der Nadel ſpiegeln. Man ſieht den Strich des Nullpunktes der Scala hinter dem Striche auf der Nadel ſich hin und her bewegen, und die Nadel ſteht richtig, wenn ſich beide Striche decken. Der Gebrauch des Inſtrumentes iſt nun folgender: Man läßt den zu meſſenden Strom durch die Drahtleitung kreiſen. Dadurch werden die beiden Nadeln abgelenkt. Man dreht ſie nun an dem Griffe, woran der Zeiger *m* befeſtigt iſt, und woran die Uhrfeder *f* hängt, genau wieder ſo weit, daß ſich die beiden Mittelſtriche der Scala und auf der oberen Nadel decken. Die Torſion der Feder wird nun an dem Theilkreiſe *d* abgeleſen. Die Zahlen der Torſionswinkel ſind unmittelbar proportional und laſſen ſich leicht auf chemiſchen Effect reduciren. Daß die Torſionswinkel bei flachen Uhrfedern der drehenden Kraft proportional ſeyen, war noch nicht durch Verſuche bekannt, und es mußte deshalb erſt geprüpft werden. Zu dieſem Zwecke wurde eine Wage conſtruirt, welche mit einem herabgehenden Arme geeignet war, einen horizontalen Druck zu meſſen. Dieſe Wage iſt in Fig. 67. abgebildet.

Sie iſt nicht aufgehangen, ſondern ruht mit ihrer mittleren Schneide, welche in einem kreisförmigen leeren Raume des Wagbalkens frei hervorragt, auf einer ſchwach ausgehöhlten Pfanne, wozu man den Ausſchnitt einer geſpaltenen weiten Glasröhre gebrauchen kann. Der ſenkrecht herabhangende Arm *a* iſt bis in die Mitte der kleinen Röllchens *b*

doppelt ſo lang als ein Arm am Balken. Jeder Arm der Wage iſt in 10 gleiche Theile eingetheilt, und die Theile durch Zahlen, von der Mitte anfangend, bezeichnet. Die ganze Wage läßt ſich an einer meſſingenen Stange *c* mit ſchwerem Fuße beliebig hoch ſtellen.

Fig. 67.



Dieſe Wage wird nun an das Torſionsgalvanometer gebracht und ſo weit herunter gelaſſen, daß die Mitte des Rädchens *b* an dem ſenkrechten Arme genau auf die Mitte der ſenkrechten Höhe der oberen Magnetnadel drückt. Der Angriffspunkt der Wage an der Magnetnadel iſt $^1/_{10}$ Meter von der Mitte der Nadel entfernt, und wird durch einen Strich bezeichnet. Nachdem nun die Wage dicht an die Magnetnadel gebracht iſt, ſo

daß ſowohl die Nadel als der Zeiger der Wage auf ihren Theilkreiſen auf 0 ſtehen, wird der Uhrfeder eine beliebige Torſion gegeben, die auf dem Theilkreiſe *d* (Fig. 67) abgeleſen wird. Die Magnetnadel drückt nun mit dieſer Kraft gegen das Rädchen der Wage und ſchiebt es ſeitwärts, wodurch ein Arm der Wage in die Höhe ſteigt. Durch Belaſtung dieſer Seite des Balkens mit genauen Gewichten wird die Wage wieder auf 0 gebracht, und das dazu nöthige Gewicht giebt den horizontalen Druck der Nadel in Grammen oder irgend einem anderen abſoluten Gewichte an.

In dieſer Art wurden die folgenden Zahlen erhalten:

A	B	C	D
Torſions-winkel.	Aufgelegtes Gewicht in Grammen.	Berechnetes Gewicht in Grammen.	Differenz.
30°	0,170	0,1697	— 1,0003
60°	0,341	0,3394	— 0,0046
90°	0,513	0,5091	— 0,0039
120°	0,678	0,6788	+ 0,0008
150°	0,850	0,8485	— 0,0015
180°	1,010	1,0182	+ 0,0082
210°	1,179	1,1879	+ 0,0089
240°	1,347	1,3576	+ 0,0106
270°	1,521	1,5273	+ 0,0063
300°	1,694	1,6970	+ 0,0030
330°	1,876	1,8667	— 0,0093
360°	2,037	2,0364	— 0,0006
450°	2,565	2,5455	— 0,0200
720°	4,043	4,0728	+ 0,0298
Summa 3510°	19,824		

Columne A iſt die abſichtlich gegebene Torſion, B das nöthige Gewicht in Grammen, um dieſer Torſion das Gleichgewicht zu halten, Columne C iſt aus dem Mittel aller Verſuche berechnet. Nach Columne A haben 3510° Torſion 19,824 Gramme zur Herſtellung des Gleichgewichts erfordert, alſo würden 30° erfordern: 0,1697.

In dieſer Art ſind die einzelnen Poſten von C berechnet. B von C abgezogen, giebt die Columne D. Da die Zeichen der Differenz theils negativ, theils poſitiv ſind, die Differenzen ſelbſt aber überall ſehr klein, ſo ergiebt das einfache Geſetz für flache bandartige Uhrfedern, was ſchon

Coulomb für Drähte nachgewieſen hatte, daß: die Kraft, womit die Nadel in ihre urſprüngliche Lage zurückgedrängt werden muß, dem Torſionswinkel genau proportional iſt.

Es konnte nun für alle ferneren Verſuche dieſe Wage vollkommen entbehrt, und die Torſionskraft allein als Index der Größe der ablenkenden Kraft benutzt werden.

Um nun dieſes Inſtrument auf ein abſolutes Maaß zurückzuführen und die Angaben deſſelben, wie Thermometergrade, allgemein verſtändlich zu machen, wurde es mit einer Volta'ſchen Säule und Zerſetzungszelle verbunden, und der Strom der Säule zugleich durch die Zerſetzungszelle und das Galvanometer geleitet. Zu dieſem Zwecke wurde eine Grove'ſche Säule von 8 Elementen angewendet. Die Zellen waren nicht unter ſich gleich ſtark, worauf es auch gar nicht ankam. Die Größe des voltametriſchen Effectes wurde mit dem Apparate, Fig. 68, gemeſſen.

Fig. 68.

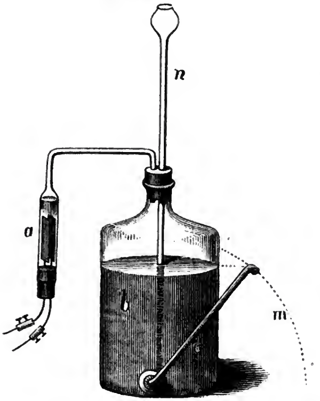


Fig. 69.

a iſt die Zerſetzungszelle, worin der Strom durch zwei Platinplatten geleitet wird. Die Flüſſigkeit iſt verdünnte Schwefelſäure. Das entwickelte Gas wird in die Flaſche *b* geleitet, die mit Waſſer, Chlorcalciumlöſung oder Queckſilber gefüllt ſeyn kann. Die nach zwei Seiten in einem rechten Winkel gebogene Glasröhre, Fig. 69, dreht ſich in einem Korke, der dicht in einem Tubulus am Boden der Flaſche befeſtigt iſt, mit Reibung um, ſo daß ſie in jeder Lage ſtehen bleiben kann. Der Ausguß dieſer Röhre läuft in dem punktirten Kreiſe *m*, und kann dadurch jede beliebige Höhe annehmen. Wenn dieſer Ausguß auf gleicher Höhe mit dem Niveau der Flüſſigkeit in der Flaſche ſteht, ſo iſt die Flaſche zum Verſuche bereit. Die ſenkrechte Röhre dient zum Erkennen, ob die Spannung der äußeren und inneren Luft gleich iſt; in dieſem Falle nämlich ſteht das Niveau der Flüſſigkeit innerhalb dieſer Röhre genau in der Ebene des Flüſſigkeitsſpiegels. Die Beobachtung dieſes kleinen Punktes inmitten einer horizontalen Waſſerfläche ſchließt jeden Fehler einer Parallaxe aus.

Die Meſſung findet nun ganz leicht Statt. Man ſchließt den Strom der Scala durch Eintauchen der letzten offenen Verbindung des Apparates und bemerkt den Zeiger an der Uhr. Die Nadel des Galvanometers bringt man durch Torſion genau zum Einſtehen und notirt den Torſionswinkel. Die Waſſerzerſetzung laſſe man eine beſtimmte Zeit fortdauern und beobachte zugleich an der Nadel, ob der Strom in Quantität nicht ſchwanke. So wie die Zeit verfloſſen iſt, öffne man die Kette, bringe durch Beugen der Röhre *c* noch ſo viel Waſſer zum Ausfließen, daß die Spannung der Luft innen und außen gleich ſey, und beſtimme nun die Menge des ausgefloſſenen Waſſers nach Volum oder Gewicht.

In dieſer Art wurden die folgenden Reſultate erhalten:

Anzahl der Zellen.	Torſion des Galvanometers.	Entwickeltes Knallgas in 1 Minute in Cubikcentimeter.	Torſion auf 1 Cubikcentimeter.
8	530	44,5	11,91
8	587	46	12,75
8	429	37	11,60
7	520	41	12,6
7	490	40	12,2
7	409	33,5	12,35
6	423	35	12,08
6	357	30	11,90
5	338	29	11,65
5	337,5	28,5	11,85
5	315	26	12,11
4	277	23,5	11,80
4	263,5	23	11,46
3	181	16	11,31
3	181	15,75	11,50
3	174	15	11,6
2	85	7	12,14
1	nichts	nichts	
Summa	5896,5	490,75	

Es wurden zuerſt 8 Zellen angeſetzt, dann immer eine entfernt, bis herunter auf 1, dann wieder ſteigend bis zu 8 eine zugeſetzt. Die letzte Reihe von Verſuchen fiel wegen Abſtumpfung der Säure etwas ſchwächer aus. Die Reſultate ſind nach der Anzahl der Zellen geordnet. Die vierte

Columne iſt durch Diviſion mit der dritten in die zweite erhalten. Die Quotienten der vierten Columne ſind ſich ſo ſehr unter einander gleich, daß man daraus den unbezweifelten Schluß ziehen kann, daß bei jeder Stärke des Stromes die ablenkende Kraft des Stromes vollkommen dem chemiſchen Effecte proportional iſt.

Addiren wir nun die zweite und dritte Columne einzeln, und dividiren mit der Summe der dritten Columne (= 490,75) in die Summe der zweiten Columne (= 5896,5), ſo erhalten wir als Mittel, daß bei dem vorliegenden Inſtrumente als Individuum betrachtet: 12,015 Grade Torſion einen chemiſchen Effect von 1 Cubikcentimeter gemiſchter Gaſe per Minute repräſentiren.

Ich ſtellte nun auch noch eine Daniell'ſche Säule aus 8 Elementen zuſammen, und ließ die Zerſetzung 5 Minuten dauern. Dabei wurden folgende Reſultate erhalten:

Zahl der Elemente.	Torſion des Galvanometers.	Cubikcentimeter gemiſchtes Gas in 5 Minuten.
8	28	12
8 ſpäter	$23\frac{1}{2}$	10
7	25	10
6	$19\frac{3}{4}$	8
5	15	6
4	10	4
3	(4)	unermeßbar
2	nichts	nichts
Summa	121,25	50

121,25 getheilt durch 10 (welches die in 1 Minute entwickelte Gasmenge iſt) giebt 12,125 Grade Torſion für 1 Cubikcentimeter gemiſchtes Gas, eine Zahl, die ſo genau mit jener bei der Grove'ſchen Säule erhaltenen zuſammenfällt, daß dadurch ihre Richtigkeit für jede Art von Säulen feſtſteht. Schenken wir nun der erſteren Zahl 12,012 das größere Zutrauen, ſo haben wir nur noch eine Tafel zu berechnen, um jede Art von Strom, die durch Torſion gemeſſen werden kann, ſogleich nach chemiſchem Effect zu beſtimmen, ſelbſt wenn der Strom nicht Intenſität genug beſitzt, eine Zerſetzungszelle zu durchdringen.

Wenn 12° Torſion 1 Cubikcentimeter gemiſchtes Gas per Minute repräſentirt, ſo iſt:

1^0 Torſion	=	0,0833	Cubikcentimer
2^0 »	=	0,1666	»
3^0 »	=	0,2499	»
4^0 »	=	0,3333	»
5^0 »	=	0,4165	»
6^0 »	=	0,5000	»
7^0 »	=	0,5833	»
8^0 »	=	0,6666	»
9^0 »	=	0,7500	»

Mit dieſem Täfelchen, welches freilich nur zu Mohr's Inſtrumente paßt, läßt ſich jeder Strom in abſolutem Volumenmaaß des in 1 Minute gelieferten gemiſchten Gaſes ausdrücken. Ein Strom von 945^0 Torſion würde die Zahl 78,7497 ^{kcm} erhalten, denn

$$\begin{aligned} 900 &= 75{,}00 \\ 40 &= 3{,}333 \\ 5 &= 0{,}4165 \\ \hline 945 &= 78{,}7495. \end{aligned}$$

Da nun die begründenden Verſuche ein für allemal gemacht ſind, ſo hat Jeder, der ein ſolches Galvanometer conſtruirt hat, nur folgenden einfachen Verſuch zu machen. Man ſtelle eine Säule zuſammen, laſſe ſie Waſſerzerſetzung eine gemeſſene Zeitlang bewirken, meſſe den Strom durch die Torſion des Galvanometers und das Volum der Gaſe, ſo erfährt man durch eine einfache Diviſion, wie viel Grade Torſion einem Cubikcentimeter gemiſchter Gaſe entſprechen. Das kleine Täfelchen erleichtert die Anwendung, indem es einzelne Berechnungen in bloße Addition verwandelt. Es iſt nicht verwehrt, Correctionen der Feuchtigkeit, Wärme und des Barometerſtandes anzubringen; doch werden die Verſuche am bequemſten vergleichbar ſein, wenn ſie bei einer mittleren Zimmertemperatur von 12^0 R. gemacht werden. Die vorliegenden ſind bei 28 Zoll Barometerſtand angeſtellt worden, und bedürfen deshalb keiner Correction.

Derſelbe Strom muß nun aber noch, um ihn vollſtändig zu erkennen, nach Intenſität oder Spannung gemeſſen werden. Das paſſendſte Inſtrument dazu iſt das Rheometer oder der Rheoſtat von Wheatſtone, der aber nicht ſo leicht von ſeinen Beſonderheiten entkleidet werden kann. Mohr ſchlägt folgenden allgemeinen Ausdruck vor. Um einen beſtimmten Strom auf die Hälfte ſeiner Quantität zu reduciren, müſſen ſo und ſo viele Meter eines ſo und ſo dicken Drahtes eingeſchaltet werden.

Die wirkliche Quantität des Stroms wird unmittelbar durch Torſion am Galvanometer gemeſſen. Dieſe Zahl durch 2 dividirt, giebt die Hälfte der Quantität, worauf man den Zeiger des Galvanometerkreiſes einzuſtel-

len hat. Nun ſchalte man den Draht des Rheoſtats ein, bis die Nadel des Galvanometers wieder auf 0 ſteht. Die eingeſchaltete Drahtlänge iſt das Maaß der Intenſität in einem conventionellen Drahte ausgedrückt. Hier liegt aber die Schwierigkeit. Woher nehmen wir einen Draht von einer beſtimmten Dicke und Leitungsfähigkeit? Aus dieſem Grunde erlangt der Rheometer niemals die Beſtimmtheit der Angaben des Galvanometers mit Torſion. Wheatſtone empfiehlt als Grundmaaß (Standard) einen Kupferdraht, wovon 1 Fuß 100 Gran Gewicht hat. In gleicher Art könnte man zweckmäßiger Meter und Gramm einführen. Kupfer hat den Nachtheil, zu gut zu leiten und dadurch bedeutende Längen zu erfordern. Paſſender möchte Platin ſeyn, da Meſſing als Legirung nicht immer gleiche Miſchung haben wird.

Der ganze Ausdruck für einen elektriſchen Strom wird demnach folgender ſeyn:

Seine Quantität iſt gleich ſoviel Kubikcentimetern gemiſchter Gaſe per Minute, und ſeine Intenſität eine ſolche, daß er durch ein eingeſchaltetes Stück von ſo viel Metern Länge, und von ſolcher Dicke und Subſtanz auf die Hälfte ſeiner Quantität reducirt wird. Iſt ein ſolcher Draht conventionell feſtgeſetzt, ſo iſt der Ausdruck für jeden Strom, mit beiſpielsweiſen Zahlen:

Q (Quantität) = 78,7495 Kub.-Centimeter.
J (Intenſität) = 31,57 Meter.

Magnetiſirung durch den galvaniſchen Strom.

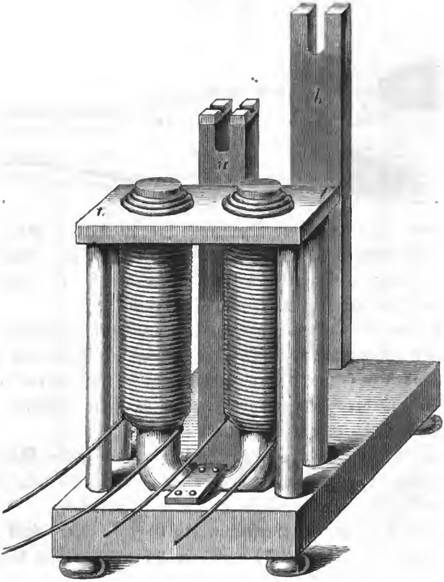
Um Verſuche über die Wirkung kräftiger Elektromagnete auf diamagnetiſche Körper, von denen weiter unten die Rede ſeyn wird, zu machen, muß man dem Elektromagneten eine andere Aufſtellung geben, als es bisher üblich war, wo man es in der Regel nur darauf abſah, ihre ſtarke Tragkraft zu zeigen. Während man bis jetzt die Pole der Elektromagneten meiſt nach unten gekehrt hatte, müſſen ſie für die fraglichen Verſuche nach Oben gekehrt ſeyn.

Profeſſor Plücker hat viel Verſuche über Diamagnetismus gemacht, die ich weiter unten noch näher erwähnen werde; nach ſeinen Angaben hat der Mechanikus Etter in Bonn einen ſehr zweckmäßigen Apparat conſtruirt, der im Weſentlichen in Fig. 70 jedoch dahin abgeändert gezeichnet iſt, daß er auch dienen kann, um die ſtarke Tragkraft der Elektromagnete zu zeigen.

Die Einrichtung des Apparates iſt aus der Figur ohne weitere Erklärung verſtändlich; jeder Arm des Uförmigen Eiſens hat ſeine beſondere Umwickelung, was den Vortheil hat, daß man die beiden Arme auch

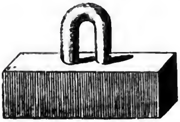
gleichförmig magnetiſiren, alſo beide Arme in Nordpole oder beide in Süd-

Fig 70.



pole verwandeln kann, was für manche Unterſuchungen von Wichtigkeit ſeyn könnte.

Fig. 71.

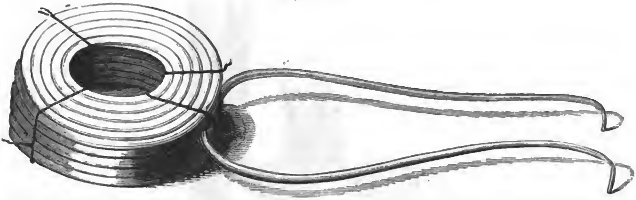


Um die Tragkraft des Elektromagneten zu prüfen, ſetzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 71; in das Ohr deſſelben wird ein eiſerner Hebel eingeſetzt, deſſen Schneide auf der Säule *a* ruht; am anderen Ende des Hebels werden entſprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient, um den Hebel aufzuhalten, wenn er abgeriſſen wird.

Ebenſo wie man durch den galvaniſchen Strom im weichen Eiſen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, iſt man auch im Stande, mit Hülfe deſſelben Stahlmagnete von großer Stärke hervorzubringen. Eine zu dieſem Zweck beſonders geeignete Vorrichtung iſt die in Fig. 72 abgebildete von Elias angegebene Drahtrolle.

Ein ungefähr 25 Fuß langer, $^1/_8$ Zoll dicker Kupferdraht wird mit Seide gehörig umwickelt und dann zu einer Drahtrolle gewunden, wie

Fig. 72.



die Figur zeigt. Die Höhe der Drahtrolle beträgt 1 Zoll, der Durchmeſſer der innern Höhlung $1^1/_2$ Zoll. Die beiden Drahtenden werden, wenn man einen Stahlſtab magnetiſiren will, mit den Polen eines kräftigen Volta'ſchen Elementes in Verbindung gebracht.

Während nun ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, ſteckt man den zu magnetiſirenden Stahlſtab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden auf und nieder, und wenn er ſich wieder mit ſeinem mittleren Theil in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab vollkommen magnetiſirt herausgenommen.

Es iſt gut, den Stahlſtab oben und unten mit einem Stück weichen Eiſen und, wenn der zu magnetiſirende Stab hufeiſenförmig gebogen iſt, ihn während der Operation mit einem Anker zu verſehen.

Elias wandte zu ſeinen Verſuchen ein Grove'ſches Zink-Platinelement an, welches $^1/_3$ Quadratfuß wirkſame Platinoberfläche hatte.

Die Wirkung dieſer Vorrichtung iſt ſo kräftig, daß man mit Hülfe derſelben die Pole eines ſtarken Magnetſtabes ſtets umkehren kann.

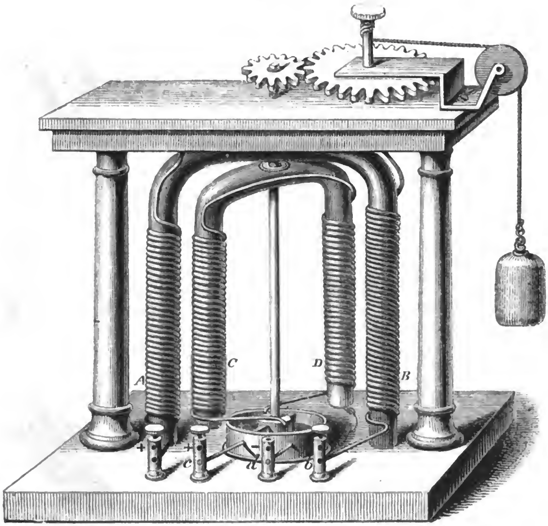
Benutzung des galvaniſchen Stromes als bewegende Kraft.

Die kräftigen magnetiſchen Wirkungen, welche der elektriſche Strom hervorzubringen im Stande iſt, führten auf die Idee, denſelben als bewegende Kraft zu benutzen. Die Fig. 73 zeigt einen Apparat, welcher ſehr geeignet iſt, zu zeigen, wie man durch die magnetiſirende Wirkung des galvaniſchen Stromes eine continuirliche Bewegung hervorbringen kann.

AB iſt ein hufeiſenförmig gebogenes, an dem Geſtelle befeſtigtes weiches Eiſen, welches mit Kupferdraht in der Weiſe umwickelt iſt, wie ein Elektromagnet. Das eine Ende des Drahts geht zu dem Meſſingſäulchen a, das andere nach b, in a und b werden aber die Poldrähte eines kräftigen galvaniſchen Elementes eingeſchraubt, und dadurch das Eiſen AB zu einem Magnete gemacht.

Innerhalb des Hufeiſens AB iſt ein ähnliches kleineres CD angebracht, welches um eine vertikale Axe drehbar iſt. Auch dieſes Eiſen CD iſt mit

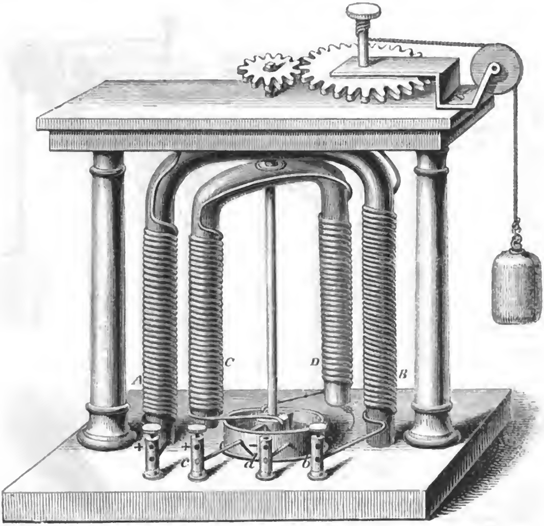
Fig. 73.



Kupferdraht in der bekannten Weiſe umwunden, die beiden Enden dieſes Drahtes tauchen aber in eine mit Queckſilber gefüllte hölzerne ringförmige Rinne herab. Dieſe Rinne iſt nun durch zwei Scheidewände von Holz oder Elfenbein in zwei Abtheilungen getheilt; die eine iſt durch einen Kupferdraht mit dem Meſſingſäulchen *c*, die andere mit dem Meſſingſäulchen *d* in leitender Verbindung (in *c* und *d* werden die beiden Poldrähte einer einfachen Kette angeſchraubt). Die beiden Abtheilungen der Rinne ſind nun mit Queckſilber ſo weit gefüllt, daß das Niveau deſſelben in jeder Abtheilung zwar über die Scheidewände hinausragt, daß es aber doch nicht aus einer Abtheilung in die andere überfließen kann, was ſehr leicht möglich iſt, weil das Queckſilber in jeder Abtheilung gleichſam einen convexen Tropfen bildet. Die beiden Drahtenden des Elektromagneten CD gehen nur gerade ſo weit herab, daß das eine in das Queckſilber der einen, das andere in das Queckſilber der andern Abtheilung eintaucht, daß ſie aber während der Rotation des Elektromagneten CD ohne Hinderniß über die Scheidewände der beiden Abtheilungen hinweggehen.

Bei der in Fig. 74 abgebildeten Stellung des Elektromagneten *CD* geht nun, wenn in *c* der poſitive und *d* der negative Poldraht eines

Fig. 74.



kräftigen galvaniſchen Elementes eingeſchraubt wird, der poſitive Strom von *c* in die linke Abtheilung der Rinne, von da durch den Kupferdraht um das bewegliche Hufeiſen herum von *D* nach *C*, von *C* aus in die rechte Abtheilung der Rinne und von dieſer nach *d*. Bei dieſer Stellung wird der Pol *C* von *A*, und *D* von *B* angezogen, wodurch eine rotirende Bewegung des Elektromagneten *CD* eingeleitet wird. Wenn aber nun *C* eben bei *A* und *D* bei *B* ankommt, ſo gehen die beiden Drahtenden des inneren Elektromagneten über die Scheidewände hinweg; der Strom, welcher *CD* magnetiſch macht, wird für einen Moment unterbrochen, ſobald aber die Drahtenden aus einer Abtheilung in die andere übergegangen ſind, geht der Strom durch den um *CD* gewundenen Kupferdraht in entgegengeſetzter Richtung hindurch, der Pol *C* wird nun von *A*, *D* von *B* abgeſtoßen, während ſich *C* und *B*, *D* und *A* anziehen, dadurch wird die Rotation des inneren Elektromagneten fortgeſetzt, bis *C* bei *B* und *D* bei *A* ankommt, wo alsdann durch eine abermalige Umkehrung der Pole des in-

neren Elektromagneten die Rotation deſſelben in unveränderter Richtung fortgeſetzt wird.

An der Umdrehungsaxe des inneren Elektromagneten iſt ein Zahnrad befeſtigt, welches in ein zweites von größerem Halbmeſſer eingreift. Um die Axe dieſes zweiten Zahnrades iſt nun eine Schnur geſchlungen, die über eine Rolle weggeht, und an der endlich ein Gewicht hängt, welches durch die Rotation des inneren Elektromagneten gehoben wird.

Dieſer Apparat iſt eigentlich nur eine Vervollkommnung des von Ritchie conſtruirten Rotationsapparates, bei welchem ein Stahlmagnet die Stelle des äußeren Elektromagneten erſetzt, während das rotirende Eiſen die Form eines geraden Stabes hat, welcher mit einer Drahtwindung umgeben iſt, deren Enden in eine Queckſilberrinne eintauchen, wie in unſerem Apparate, und deſſen Rotation ebenfalls durch die nach jeder halben Umdrehung erfolgende Umkehrung der Pole unterhalten wird.

Die bis jetzt namentlich von Jacobi in Petersburg und von Wagner in Frankfurt gemachten Verſuche, um den galvaniſchen Strom praktiſch als bewegende Kraft anzuwenden, haben bis jetzt die gewünſchten Reſultate nicht geliefert.

Ein Hauptgrund, daß man namentlich mit größeren Apparaten keine günſtigen Reſultate erhielt, liegt darin, daß der Polwechſel der Elektromagnete nicht momentan ſtattfindet. Selbſt das weichſte Eiſen, welches von einer elektriſchen Spirale umgeben zum Elektromagneten wird, iſt nicht im Stande, ſeine Pole ſo ſchnell zu wechſeln, als man den elektriſchen Strom in der Spirale umkehren kann; je größer die Eiſenmaſſe iſt, deſto träger iſt ſie in dieſer Beziehung, und daher kommt es auch, daß größere Apparate verhältnißmäßig ſchlechtere Reſultate geben als kleinere Modelle.

Dieſen Nachtheil, welcher aus der Trägheit des Eiſens gegen die Umkehrung des Magnetismus herrührt, hat Stöhrer auf eine ſehr ſinnreiche Weiſe zu umgehen gewußt, indem er die Rotation eines Elektromagneten, deſſen Pole nicht gewechſelt werden, durch den Polwechſel einer elektriſchen Spirale bewirkt, innerhalb welcher der Elektromagnet rotirt.

Fig. 75 ſtellt den Stöhrer'ſchen Apparat dar. *a* und *b* ſind zwei längliche Rahmen, welche von überſponnenem Kupferdraht gebildet ſind, welcher ungefähr 1 Linie im Durchmeſſer hat. Die Drahtwindungen, welche den oberen Rahmen bilden, ſind durch den gebogenen Draht *c* mit dem des unteren verbunden; die Windungen beider Rahmen ſind der Art, daß ein elektriſcher Strom beide in gleicher Richtung durchläuft. Der ganze aus Drahtwindungen gebildete Rahmen iſt mit ſeidenem Band umwickelt. Zwiſchen dem oberen und dem unteren Drahtrahmen iſt ein ſolcher

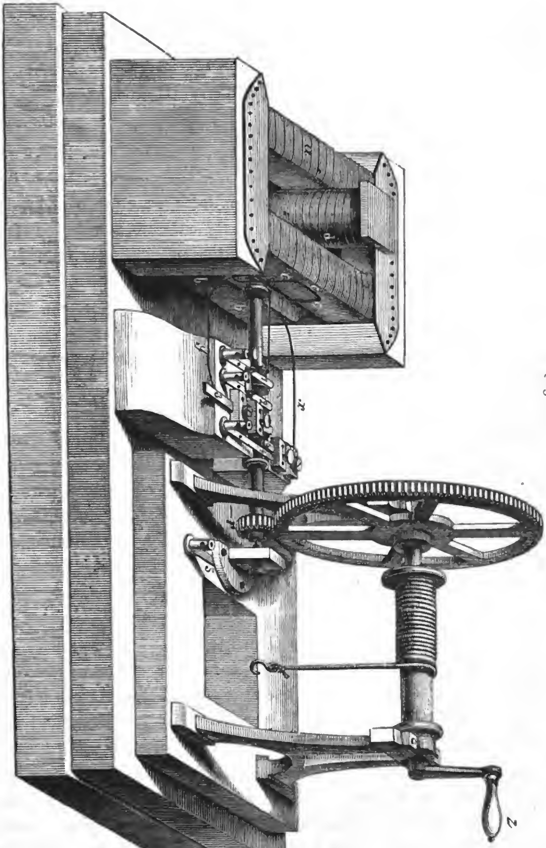


Fig. 75.

Zwiſchenraum, daß die Umdrehungsaxe des Elektromagneten d ſich frei bewegen kann.

Der Eiſenkern des Elektromagneten iſt an jedem Ende mit einer Eiſenplatte verſehen, welche einestheils die Drahtwindungen des Elektromagneten hält, anderentheils aber auch ſehr zur Verſtärkung der Wirkung beiträgt.

Wenn gleichzeitig ein Strom durch die Windungen der Rahmen a und b und durch die Windungen des Elektromagneten d hindurchgeht, ſo wird ſich der Elektromagnet rechtwinklig ſtellen zur Ebene der Rahmen; und zwar wird, je nach der Richtung des Stromes in den Rahmen, ein beſtimmter Pol des Elektromagneten ſich nach oben kehren. Bliebe der Strom in den Rahmen ungeändert, ſo würde der Elektromagnet in dieſer Gleichgewichtslage nach einigen Oscillationen zur Ruhe kommen, wird aber der Strom in den Rahmen in demſelben Moment umgekehrt, in welchem der Magnet ſeine vertikale Stellung erreicht hat, ſo wird nun die Rotation fortdauern müſſen, denn bei der neuen Stromrichtung in den Rahmen kann der Elektromagnet nicht eher zur Ruhe kommen, als bis der eben oben angekommene Pol gerade nach unten gerichtet iſt; es wird alſo eine beſtändige Rotation des Elektromagneten ſtattfinden müſſen, wenn nach jener halben Umdrehung deſſelben der Strom in den Rahmen umgekehrt wird, während die Polarität des Elektromagneten ungeändert bleibt.

Sehen wir nun, wie der Strom durch den Apparat hindurchgeleitet wird.

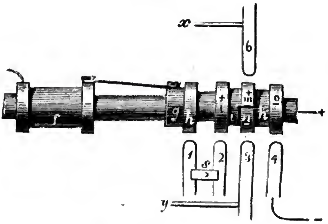
Die Umdrehungsaxe des Elektromagneten läuft zwiſchen zwei Stahlſpitzen, von denen nur die eine in unſerer Figur ſichtbar iſt. Dieſe Spitze ſteckt mit einem Schraubengewinde in einem Meſſingpfeiler, deſſen Fuß feſt auf den Boden aufgeſchraubt iſt, ſo daß eine innige Berührung zwiſchen dieſem Meſſingfuße und dem Kupferſtreifen 5 ſtattfindet, auf deſſen anderem Ende ein Meſſingſäulchen ſitzt. In dieſes Säulchen kann der eine Poldraht einer galvaniſchen Kette eingeſteckt und mittelſt einer Schraube feſtgeklemmt werden. (Die Schraube iſt in der Figur weggelaſſen worden; dies Säulchen und ſeine Schraube iſt genau ſo wie das auf der Feder 1 ſtehende.)

Der Strom tritt alſo durch dies Säulchen und den Kupferſtreifen 5 in den Apparat ein, geht durch die Spitze in die Umdrehungsaxe über, durch welche er zum Eiſenkern des Elektromagneten gelangt. Auf dieſen Eiſenkern iſt nun das eine Drahtende der Spirale aufgeſchraubt, welche um den Eiſenkern herumgewunden iſt; das andere Ende dieſer Spirale iſt auf die Kupferhülſe f, welche man Fig. 76 deutlicher ſieht, eingelaſſen. Dieſe Kupferhülſe ſteckt nicht unmittelbar auf der eiſernen Axe, ſondern ſie iſt

von ihr durch eine iſolirende Hülſe getrennt. Der Strom geht alſo aus dem Eiſenkern des Elektromagneten in die Windungen deſſelben, und nachdem er dieſelben durchlaufen hat, gelangt er zur Kupferhülſe *f*, von der er dann zum Commutator geführt wird, welcher bewirkt, daß die Stromrichtung in den Windungen der Rahmen geleitet, nach jeder halben Umdrehung in denſelben umgekehrt wird.

Die Einrichtung dieſes Commutators iſt aus Fig. 76 deutlicher zu erſehen. Von der Kupferhülſe *f* führt ein Kupferdraht zur Eiſenhülſe *g*,

Fig. 76.



welche, wie auch die eiſernen Hülſen *i* und *k*, durch eine hölzerne Hülſe, auf der ſie ſtecken, welche aber nur zwiſchen *h* und *l* freiliegt, vor metalliſcher Berührung mit der Axe geſchützt iſt. Die Hülſe *g* trägt den ganz kreisförmigen metalliſchen Kamm *h*; an dem einen Ende der Hülſe *i* befindet ſich der ganz kreisförmige Kamm *l*, auf der andern Seite von *i* iſt der Kamm *m* befeſtigt, welcher jedoch nur einen Halbkreis bildet. Der halbkreisförmige Kamm *n*, welcher gleichſam die Fortſetzung von *m* bildet, iſt durch die Hülſe *k* mit dem ganz kreisförmigen Kamm *o* in leitender Verbindung, aber durch eine iſolirende Subſtanz von *m* und *i* getrennt.

Auf *h* ſchleift die Feder 1, auf *l* die Feder 2, auf *o* die Feder 4. Die Feder 3 ſchleift oben, die Feder 6 ſchleift unten an dem aus den Theilen *m* und *n* beſtehenden Kamm und zwar ſo, daß *n* und 3 in Berührung ſind, wenn *m* und 6 ſich berühren, wenn aber während der Rotation *m* mit 3 in Berührung kommt, ſo kommt unten *n* mit 6 in Berührung.

Nehmen wir an, der poſitive Pol der Kette ſey in das Säulchen des Streifens 5, der negative Poldraht in das Säulchen der Feder 4 eingeſchraubt, ſo geht der poſitive Strom, nachdem er den Elektromagneten umkreist hat, von *f* nach *g* und *h*, von da durch die Feder 1 und den kupfernen Querſtreifen *s* auf die Feder 2, dann nach *l*, *i* und *m*; der halbkreisförmige Kamm *m* iſt alſo gleichſam ein + Pol, von *m* geht der poſitive Strom auf diejenige Feder über, die er gerade berührt.

Der negative Strom tritt durch die Feder 4 ein und gelangt von da über *o* und *k* nach *n*, ſo daß alſo *n* gleichſam der negative Pol der Kette iſt.

Wenn *m* mit 6, *n* aber mit 3 in Berührung iſt, ſo tritt alſo der poſitive Strom von 6 aus durch den Draht *x* in die Windungen der Rah-

men ein, und gelangt, nachdem er dieſe Windungen durchlaufen hat, durch den Draht y und die Feder 3 nach n; nach einer halben Umdrehung aber kommt m mit 3 in Berührung, jetzt tritt der poſitive Strom durch die Feder 3 und den Draht y in die Windungen der Rahmen ein, durch x und 6 aber aus, bei jeder halben Umdrehung der Axe findet alſo eine Umkehrung der Stromrichtung und der Rahmen Statt, wodurch denn die fortdauernde Rotation des Elektromagneten bewerkſtelligt wird.

An der Umdrehungsaxe des Elektromagneten iſt das kleine Zahnrad r befeſtigt, welches in ein größeres eingreift. Um die Axe dieſes größeren Zahnrades iſt eine Schnur geſchlungen, an welcher ein paſſendes Gewicht gehängt werden kann, welches dann durch die Rotation des Elektromagneten gehoben wird.

Sollte der Apparat nun zu dem oben angegebenen Zwecke dienen, ſo könnte er etwas einfacher ſein; g und h und die Federn 1 und 2 könnten ganz wegbleiben, f und i direct durch einen Kupferdraht verbunden ſeyn; bei der Einrichtung, welche der Apparat jetzt hat, läßt er ſich aber auch noch zu anderen Verſuchen anwenden, welche erſt ſpäter beſprochen werden können.

Bei Anwendung einer Zinkkohlenkette, welche 20 Quadratzoll wirkender Kohlenfläche hatte, wurden folgende Reſultate erhalten:

1	Element	hob	$1\frac{3}{4}$	Pfund	in	4	Sekunden	1	Fuß	hoch.
2	»	»	3	»	»	3	»	»	»	»
3	»	»	5	»	»	$2\frac{1}{2}$	»	»	»	»
4	»	»	6	»	»	2	»	»	»	»
5	»	»	$5\frac{3}{4}$	»	»	$1\frac{1}{2}$	»	»	»	»

Obgleich die *Stöhrer*'ſchen Apparate günſtigere Reſultate geben, als alle früher zu dieſem Zwecke conſtruirten, ſo ergab ſich doch, daß die Unterhaltungskoſten zu groß ſind, um eine techniſche Anwendung möglich zu machen.

Elektriſche Telegraphen.

Eine andere praktiſche Anwendung, welche man von der ſchnellen Verbreitung elektriſcher Ströme durch iſolirte Metalldrähte und der Magnetiſirung des Eiſens durch elektriſche Ströme gemacht hat, ſind die *elektriſchen Telegraphen*. Mehrere Phyſiker, in Deutſchland beſonders *Steinheil*, haben verſchiedene höchſt ſinnreiche Vorrichtungen der Art in Vorſchlag gebracht und ausgeführt, wir wollen uns hier jedoch darauf beſchränken, den für die Demonſtration wenigſtens ziemlich einfachen elektriſchen Telegraphen *Wheatſtone*'s zu beſchreiben.

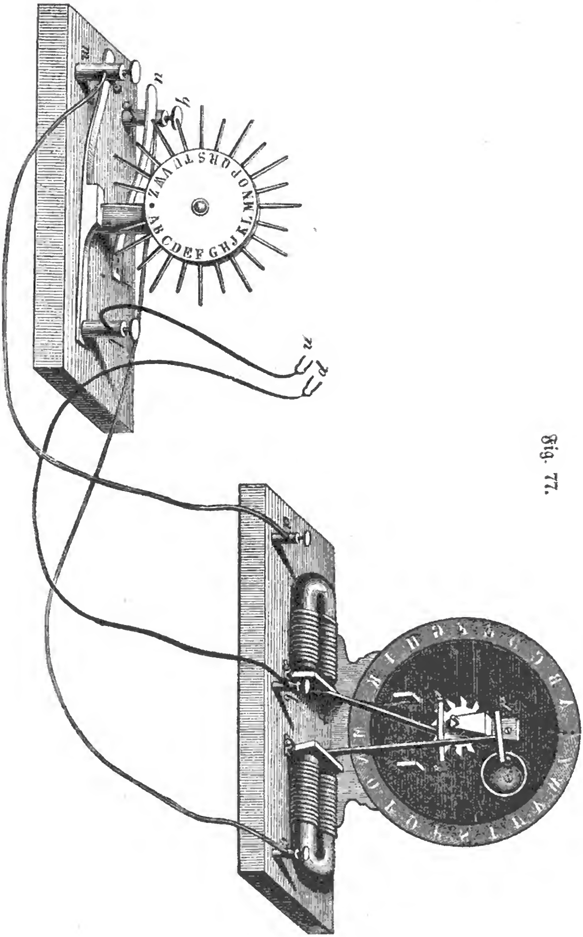


Fig. 77.

Auf einem Brettchen, Fig. 77, ſind zwei hufeiſenförmig gebogene Stücke von weichem Eiſen befeſtigt, welche mit einem durch Seide iſolirten Kupferdraht in der Weiſe umwunden ſind, daß ſie magnetiſch werden, ſobald ein galvaniſcher Strom dieſe Windungen durchläuft, daß ſie aber augenblicklich ihren Magnetismus verlieren, ſobald der Strom unterbrochen wird.

Das eine Ende des Drahtes, welcher um das links gelegene Hufeiſen gewunden iſt, geht unter dem Brettchen her zu dem Meſſingſäulchen *a*, das andere Ende zum Säulchen *b*.

In *a* ſowohl als in *b* iſt nun ein Draht eingeſchraubt; dieſe Drähte führen zu dem oft Stunden weit entfernten Orte, an welchem ſich eine galvaniſche Kette befindet. Bringt man den in *a* eingeſchraubten Leitungsdraht mit dem poſitiven, den in *b* eingeſchraubten Draht mit dem negativen Pole jener galvaniſchen Kette in Berührung, ſo wird das Hufeiſen ſogleich magnetiſch; man braucht nur die Berührung des einen dieſer Drähte mit dem einen Pol der Kette abwechſelnd herzuſtellen und zu unterbrechen, um den Magnetismus im Hufeiſen abwechſelnd zu erzeugen und wieder zu vernichten.

Von dem Orte, an welchem die galvaniſche Säule aufgeſtellt iſt, geht aber ein dritter Draht aus, welcher zum Meſſingſäulchen *c* führt; nach *b* und *c* laufen aber unter dem Brette her die Enden der Drahtwindungen, welche um das rechtsgelegene Hufeiſen herumgehen; dieſes kann alſo ebenfalls durch eine ganz entfernt bei der galvaniſchen Kette befindliche Perſon abwechſelnd magnetiſch und unmagnetiſch gemacht werden.

Dicht vor den Polen des Hufeiſens auf der rechten Seite iſt nun eine Eiſenplatte angebracht, welche an ihrem unteren Ende um zwei Zapfen, wie eine Thür um die Angel, beweglich iſt; an dieſer Eiſenplatte iſt ein in die Höhe gehender Stab befeſtigt, welcher oben den horizontalen Querſtab *d* trägt.

Sobald das Hufeiſen magnetiſch wird, wird die Eiſenplatte angezogen, ſobald aber der magnetiſche Zuſtand des Hufeiſens wieder aufhört, wird die Eiſenplatte durch eine ſchwache Feder, welche gegen den aufwärts gehenden Stab drückt, wieder von den Polen des Hufeiſens entfernt.

Durch eine abwechſelnde Unterbrechung und Wiederherſtellung des um das Hufeiſen herumgeleiteten Stromes wird alſo der horizontale Querſtab *d* hin- und herbewegt. An jedem Ende dieſes Querſtabes befindet ſich nun eine kleine Kugel, welche bei jedem Hin- und Hergange an ein Glöckchen anſchlagen, welches unſere Figur deutlich zeigt.

Wenn die an der Volta'ſchen Kette ſtehende Perſon den Strom abwechſelnd herſtellt und unterbricht, ſo iſt ſie alſo im Stande, dadurch Signale an dem weit entfernten Glöckchen zu geben.

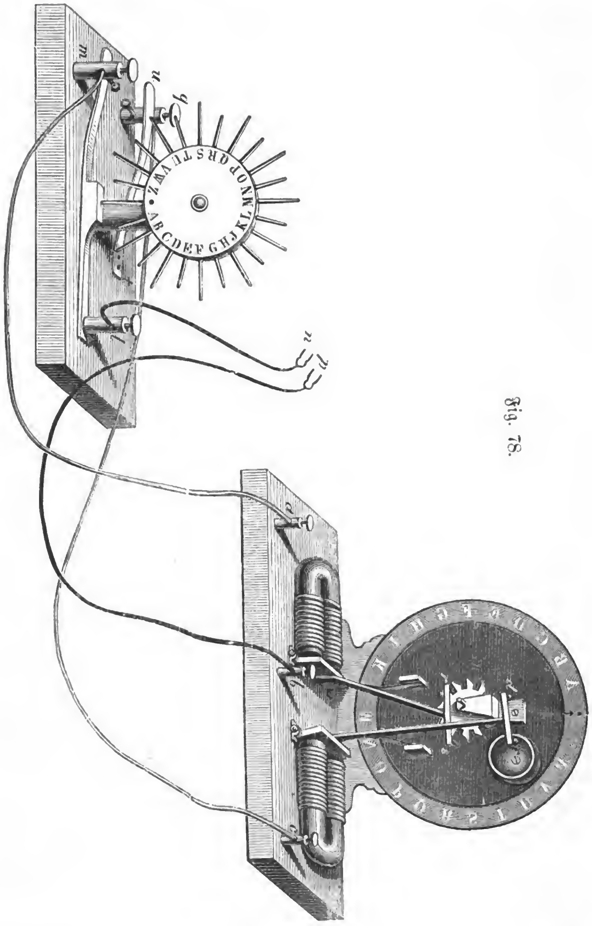


Fig. 78.

Dem andern Hufeiſen gegenüber iſt eine ähnliche Eiſenplatte mit einem Stabe befeſtigt, welcher den Querſtab *rs* trägt. An jedem Ende deſſelben iſt ein Stäbchen angebracht; bei dem Hin- und Hergange der Eiſenplatte greift nun abwechſelnd das eine und das andere Stäbchen in die Zähne eines Rades ein, und zwar iſt die Einrichtung ſo getroffen, daß bei jedem Hin- und Hergange das Rad um 1 Zahn weiter geſchoben wird. Das Rad hat 12 Zähne.

Wenn alſo die Perſon an dem Volta'ſchen Apparate die Kette durch die nach *b* und *a* gehenden Drähte ſchließt, ſo wird das Zahnrad um $1/2$ Zahn weiter geſchoben, bei der Oeffnung der Kette abermals um $1/2$ Zahn u. ſ. w.; jede Schließung der Kette ſchiebt das Rad um $1/2$ Zahn und jede Oeffnung der Kette abermals um $1/2$ Zahn weiter.

Die Axe unſeres Zahnrades geht nun durch den Mittelpunkt einer Scheibe von Eiſenblech, an welcher auch das Glöckchen befeſtigt iſt. Wir ſehen in unſerer Figur dieſe Scheibe von der hinteren Seite. Auf dem Rande dieſer Scheibe, und zwar auf der vorderen uns abgewendeten Seite, ſind nun 24 Zeichen, ein Punkt und 23 Buchſtaben des Alphabets (*x* und *y* fehlen) in gleichen Abſtänden angebracht. Unſere Figur zeigt dieſe Buchſtaben ſo, wie man ſie ſehen würde, wenn der Rand der Scheibe durchſichtig wäre.

Die durch den Mittelpunkt der Scheibe gehende Axe, um welche ſich das Zahnrad dreht, trägt an der vorderen Seite der Scheibe einen Zeiger, welcher durch die Fortſchiebung des Zahnrades ebenfalls fortgeſchoben wird; und zwar wird dieſer Zeiger bei jeder Schließung der Kette um einen, und bei jedem Oeffnen derſelben abermals um einen Buchſtaben weiter geſchoben.

Wenn der Zeiger auf . geſtellt iſt, ſo wird er bei dem erſten Schließen der Kette auf *A* ſpringen, bei der folgenden Oeffnung der Kette aber ſpringt er auf *B*, bei einer abermaligen Schließung auf *C* u. ſ. w. Durch abwechſelnde Schließung und Unterbrechung der Kette kann alſo die an dem Volta'ſchen Apparat ſtehende Perſon den Zeiger bis zu jedem beliebigen Buchſtaben ſpringen laſſen, alsdann mit dem Glöckchen ein Zeichen geben und ſo fort jedes beliebige Wort buchſtabiren.

Hierbei wäre aber ſehr leicht ein Irrthum möglich; wenn ſich die ſignaliſirende Perſon im Zählen der Schließungen und Unterbrechungen irrt, ſo ſteht der Zeiger auf einem andern als dem beabſichtigten Buchſtaben.

Um ſolche Irrthümer zu vermeiden, iſt dicht bei der Volta'ſchen Kette noch ein Apparat eingeſchaltet, welchen der Strom durchlaufen muß, und welcher dazu dient, die Schließungen und Unterbrechungen der Kette gehörig zu reguliren.

Dieſer Apparat iſt in Fig. 78 unten links dargeſtellt; *p* und *n* ſind die

beiden Pole der Volta'ſchen Kette, von *p* geht ein überſponnener Kupferdraht direkt zu dem Meſſingſäulchen *b* des Apparates, an welchem die buchſtabirten Worte abgeleſen werden. Dieſer Draht iſt in unſerer Figur ganz ſchwarz. Vom negativen Pol der Kette geht ein kurzer Draht zum Säulchen *l* des Regulirungsapparates. An dieſem Apparate befinden ſich nun noch zwei andere Säulchen *m* und *q*. In *m* wird der von *a*, in *q* wird der von *c* kommende Kupferdraht eingeſchraubt.

Durch einen unter dem Brettchen herlaufenden Draht iſt *l* mit der Meſſingfeder *tu* in leitender Verbindung. Wird dieſe Feder niedergedrückt, ſo kommt ſie mit einem aus dem Säulchen *q* hervorragenden Knöpfchen in Berührung, der Strom geht dann von *p* nach *b*, von *b* um das rechtsliegende Hufeiſen herum nach *c*, von *c* nach *q*, von *q* durch die Feder nach *l*, von *l* nach *n*. Läßt man die Feder *tu* gehen, ſo iſt der Strom unterbrochen.

Von dem Säulchen *l* geht nun auch eine Meſſingfeder aus, welche, wenn ſie nicht niedergedrückt iſt, einen am Säulchen *m* hervorragenden Knopf berührt. Iſt dies der Fall, ſo iſt die Kette geſchloſſen, der Strom geht vom poſitiven Pol durch den ſchwarzen Draht nach *b*, von da um das links liegende Hufeiſen herum nach *a*, von *a* nach *m*, von *m* durch die Meſſingfeder nach *l*, und von *l* endlich nach dem negativen Pol *n* der Kette.

Durch Niederdrücken der erwähnten Meſſingfeder wird dieſer Strom unterbrochen.

In der Mitte über der von *l* nach *m* gehenden Meſſingfeder befindet ſich eine um eine horizontale Axe drehbare Scheibe, an deren Rande 24 abwechſelnd lange und kurze Stäbchen angebracht ſind. Eines der langen Stäbchen iſt durch . bezeichnet, die anderen durch Buchſtaben, und zwar ſind die mit *A*, *C*, *E*, *G*, *I* u. ſ. w. bezeichneten Speichen kurz, die mit *B*, *D*, *F*, *H*, *K* u. ſ. w. bezeichneten Speichen aber lang.

Wenn die Scheibe ſo geſtellt iſt, daß eine lange Speiche vertikal nach unten gekehrt iſt, ſo drückt dieſelbe ſo auf die Meſſingfeder, daß ſie niedergehalten und dadurch der Strom, welcher um das links liegende Hufeiſen herumgeht, unterbrochen iſt.

Unſere Figuren zeigen den Apparat, wie er hergerichtet ſeyn muß, wenn das Signaliſiren beginnen ſoll. Die Kette iſt an keiner Stelle geſchloſſen.

Zuerſt wird nun durch Niederdrücken der Feder *tu* ein Signal mit dem Glöckchen gegeben, um die an der andern Station ſich befindende Perſon aufmerkſam zu machen. Alsdann wird die Scheibe ſo gedreht, daß zunächſt die Speiche *A* vertikal nach unten geht; da ſie kurz iſt, ſo iſt die Folge davon, daß die von *l* nach *m* gehende Feder in die Höhe geht, wodurch die Kette geſchloſſen wird, wobei dann der Zeiger von . auf *A* ſpringt. Dreht man die Scheibe weiter, ſo daß die lange Speiche *B* gerade nach

unten gerichtet iſt, ſo wird die Kette wieder unterbrochen, der Zeiger ſpringt auf *B*. Durch Drehen der Scheibe kann man alſo den Zeiger auf jeden beliebigen Buchſtaben bringen, der Zeiger ſteht immer auf dem Buchſtaben, welcher die vertikal nach unten gerichtete Speiche bezeichnet.

Hat man den Zeiger auf den beabſichtigten Buchſtaben gebracht, ſo wird durch Niederdrücken der Feder *tu* ein Zeichen mit der Glocke gegeben; darauf wird die andere Feder mit der Hand ganz niedergedrückt, um die Scheibe bequem auf den Nullpunkt zurückſtellen zu können. Iſt dies geſchehen, ſo wird der Beobachter davon durch ein abermaliges Zeichen mit dem Glöckchen benachrichtigt, worauf er dann den Zeiger auch auf . zurückzuſtellen hat. Nun iſt der Apparat wieder zu Signaliſirung eines zweiten Buchſtaben vorbereitet.

Etter's Commutator.

Der auf Seite 488 gegebenen Beſchreibung eines Gyrotropen oder Commutators (Stromwechslers) iſt noch die Beſchreibung des Etter'ſchen Commutators beizufügen.

Der Etter'ſche Commutator iſt Fig. 79 in perſpectiviſcher Anſicht dargeſtellt, Figur 80 zeigt den Haupttheil des Apparates geometriſch von der Seite her.

Fig. 79.

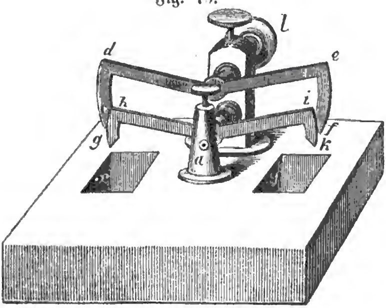


Fig. 80.

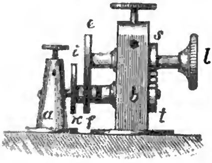
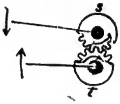


Fig. 81.



Auf einem Holzbrettchen ſtehen zwei Meſſingpfeiler *a* u. *b*. Durch den hinteren Pfeiler *b* gehen zwei horizontale Axen; die obere, ganz von Meſſing, trägt vorn die Kupfergabel *cdef*, hinten aber den Knopf *l*, welcher dient, um dieſe Axe zu drehen. Die untere Axe iſt nicht ganz von Meſſing, ſondern ſie hat in der Mitte ein

Holzſtück, welches den vorderen meſſingenen Theil von dem hinteren iſolirt. Der vordere Theil dieſer Axe ſteckt in einer Höhlung der Säule *a* und trägt die Kupfergabel *ghik*.

Auf der Rückſeite der Säule *b* tragen die beiden Axen Metallſcheiben *s* und *t*, die durch einige Zähne in einander eingreifen, ſo daß durch Drehung am Knopf *l* beide Axen gedreht werden, wobei ſich aber die untere ſtets nach der entgegengeſetzten Seite der oberen dreht, wie ſich dies aus der Erläuterungs-Figur 81 ergiebt.

Gegen das obere Ende hin enthält jede der Säulen ein Loch, in welcher vermittelſt von oben herabkommender Schrauben die Poldrähte der galvaniſchen Kette eingeklemmt werden können.

In *b* ſey der poſitive, in *a* der negative Poldraht eingeklemmt, ſo iſt die Gabel *cdef* gleichſam das poſitive, *ghik* dagegen das negative Polende (die negative Elektricität kann von *a* wegen des iſolirenden Holzſtücks in der Mitte der unteren horizontalen Axe nicht auf *b* übergehen). Dreht man nun den Knopf *l* nach der rechten Seite, ſo geht der eine Arm *cd* der oberen Gabel in das Queckſilbernäpfchen *x* herab, *ik* aber taucht in *y*; wenn alſo die Enden irgend eines Leitungsdrahtes in die Höhlungen *x* und *y* eingetaucht ſind, ſo geht der poſitive Strom von *x* durch den Draht nach *y*; dreht man aber den Knopf *l* nach entgegengeſetzter Richtung, ſo taucht *ef* in *y*, *gh* aber in *x* ein, und nun geht der Strom in entgegengeſetzter Richtung durch den Draht, welcher das Queckſilbernäpfchen *x* und *y* verbindet. Haben die Gabeln die Stellung wie in Fig. 82, ſo iſt die Kette nicht geſchloſſen.

Fig. 82.

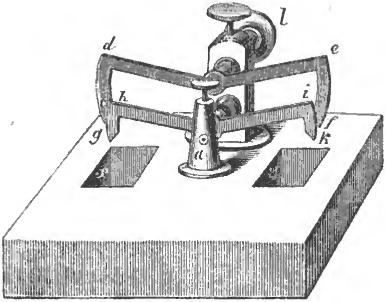


Fig. 83.

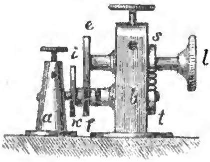
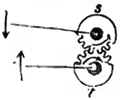


Fig. 84.

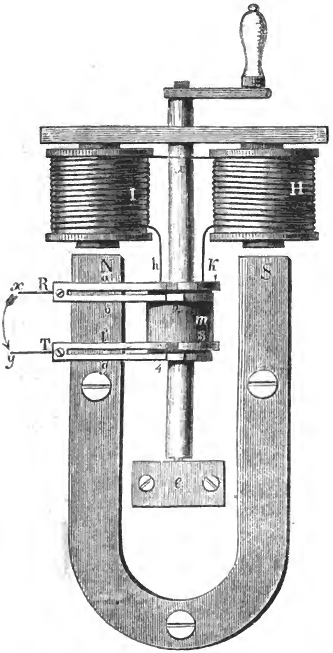


Die Magnetelektriſirmaſchine.

Die Magnetelektriſirmaſchinen ſind in neuerer Zeit bedeutend verbeſſert worden, namentlich hat ſich Stöhrer große Verdienſte um ihre Vervollkommnung erworben.

Fig. 85. ſtellt eine ganz einfache magneto-elektriſche Rotationsmaſchine mit Stöhrer'ſchem Commutator dar.

Fig. 85.



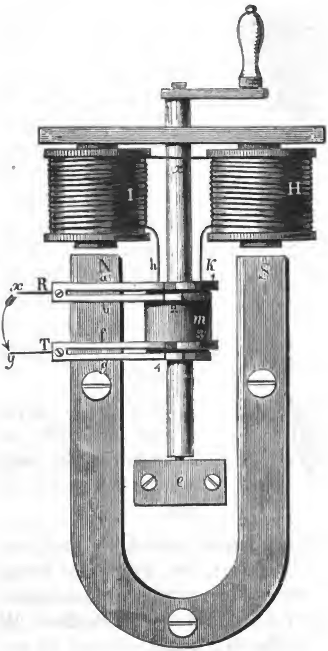
Die Inductionsſpiralen *I* und *H* ſind um zwei Cylinder von weichem Eiſen gewickelt, welche an den beiden Enden einer Eiſenplatte befeſtigt ſind, deren Mitte auf einer horizontalen eiſernen Axe aufſitzt. Die Umdrehung der Axe geſchieht, wie man dies aus der Figur erſehen kann, mittelſt einer Kurbel. Während der Rotation gehen nun die beiden Eiſenkerne an den Polen *N* und *S* eines kräftigen Hufeiſenmagneten vorüber, und jeder Eiſenkern wird dadurch abwechſelnd in einen Nordpol und dann wieder in einen Südpol verwandelt.

Das ganze rotirende Syſtem mit Allem, was daran befeſtigt iſt, wollen wir den Inductor nennen.

Die Windungen um beide Eiſenkerne bilden natürlich ein einziges ununterbrochenes langes Drahtſtück. *h* iſt das eine Drahtende; nachdem der Draht in vielen Windungen um den einen Eiſenkern herumgehend, die Spirale *I* gebildet hat, geht er bei *x* auf die andere Seite über, bildet die andere Drahtſpirale *H*, welche bei *k* endigt.

Sobald die Drahtenden h und k in leitender Verbindung ſind, entſteht in den Windungen ein Inductionsſtrom, wenn der Inductor gedreht wird. Die Richtung des Stromes hängt von der Art der Aufwindung ab. Nehmen wir an, der Draht ſey ſo aufgewunden, daß bei x der poſitive Strom ſtets von der Spirale, welche ſich gerade von unten her dem Pol S nähert, zu derjenigen übergeht, welche von oben her dem Pol N entgegengeht. In dem Moment, in welchem der Inductor gerade die in unſerer Figur gezeichnete Stellung hat, wo alſo I unten bei N und H oben bei S ankommt, geht alſo der poſitive Strom von k durch die Spirale H, dann durch x in die Spirale I und das Drahtende h, um durch die metalliſche Verbindung von h in k überzugehen; nach einer halben Umdrehung aber wird H dem Pol N entgegengehen, und nun circulirt der Strom in entgegengeſetzter Richtung, nun iſt k das poſitive und h das negative Drahtende.

Fig. 86.



Es kommt nun darauf an, zwiſchen k und h während der Rotation des Inductors eine leitende Verbindung ſo herzuſtellen, daß man beliebige Körper, durch welche man den Strom leiten will, einſchalten kann. Dies geſchieht durch den Commutator, deſſen Einrichtung aus Fig. 86, dem Durchſchnitt Fig. 87, und der perſpectiviſchen Anſicht Fig. 88, klar ſeyn wird.

Fig. 87.

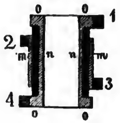
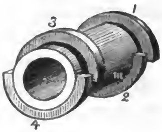


Fig. 88.



An den beiden Enden des Meſſingrohrs m ſind zwei Stahlkämme 2 und 3 ſo aufgelöthet, daß ſie genau gegenüberliegen und die Enden derſelben ſich etwas überragen. Innerhalb des Rohrs m, von demſelben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt (in Fig. 87 iſt der Durchſchnitt des Buchsbaumrohrs ganz ſchwarz gemacht) iſt ein zweites Meſſingrohr, welches an beiden Enden etwas vorragt. Die Vorſprünge tragen zwei mit dem Rohre n aus einem Stück gedrehte Ringe o von gleichem Durchmeſſer mit dem Rohre m; auf dieſe Ringe ſind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correſpondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichſten in Fig. 88 ſieht.

Dieſes ganze Syſtem iſt auf der Umdrehungsaxe befeſtigt.

Das Drahtende k führt zum Kamm 1, das Drahtende h führt zum Kamm 2.

Zwei flache dünne Stahlfedern R und T ſind an dem Geſtelle der Maſchine ſo angebracht, daß ihre vorderen geſchlitzten Enden die Stahlkämme von oben leicht berühren; ſie können nach Belieben mittelſt einer Schraube mehr oder weniger geſpannt werden.

Die Feder R theilt ſich in die beiden Gabeln a und b, die Feder T theilt ſich in f und g.

Vermittelſt der an den Federn R und S angeſchraubten Drähte x und y kann man den Inductionsſtrom durch jeden beliebigen Körper leiten. Die Drähte x und y ſeyen auf irgend eine Weiſe in leitender Verbindung.

In der Stellung, welche die Figur darſtellt, ſchleift b auf dem Kamm 2, g auf 4, während a und f frei ſind. Da nun eben 2 von h die poſitive Elektricität aufnimmt, während 4 mit dem negativen Drahtende k in leitender Verbindung ſteht, ſo circulirt der poſitive Strom in folgender Richtung durch den Apparat. Von h geht er durch den Kamm 2 und die Gabel b zum Draht x, von x geht er auf y über, um über g und den Kamm 4 zum negativen Drahtende zu gelangen.

Nach einer halben Umdrehung wird k das poſitive und h das negative Drahtende, nun aber ſchleift auch b nicht mehr auf 2, und g nicht mehr auf 4, ſondern jetzt ſchleift a auf 1 und f auf 3, der poſitive Strom geht alſo von k durch 1, a und x nach y, man ſieht alſo, daß bei dieſer Vorrichtung die leitende Verbindung zwiſchen x und y ſtets in derſelben Richtung von einem elektriſchen Strome durchlaufen wird, wenn in demſelben Moment, in welchem ſich der Strom in den Inductionsrollen umkehrt, die Gabeln, welche bisher auf ihren Kämmen ſchleiften, dieſelben verlaſſen, und die bisher freien Gabeln auf ihre Kämme aufzuliegen kommen.

Da die Kämme noch etwas über einander greifen, ſo werden alle 4 Federn einen Augenblick gleichzeitig ſchleifen; d. h. 1 wird mit *a* ſchon in Berührung kommen, ehe 2 die Gabel *b* verläßt, ebenſo kommt 3 mit *f* ſchon in Berührung, ehe 4 die Gabel *g* verläßt. In dieſem Moment geht gar kein Strom durch die leitende Verbindung zwiſchen *x* und *y*, indem der Strom durch die Federn ſelbſt von den poſitiven Kämmen zu den negativen übergeht.

In dem Moment, in welchem ein Stahlkamm ſeine Feder verläßt, wird hier der Strom unterbrochen, wobei ein lebhafter Funken erſcheint.

Wenn in die Verbindung zwiſchen *x* und *y* der menſchliche Körper eingeſchaltet iſt, ſo erhält man bei jeder der oben erwähnten Unterbrechungen einen Schlag; bei raſcher Umdrehung des Inductors folgen dieſe Schläge ſehr ſchnell auf einander und bringen dann dieſelben phyſiologiſchen Erſcheinungen hervor, welche ſchon früher beſchrieben wurden.

Leitet man die Drähte *x* und *y* zu einem Waſſerzerſetzungsapparat, ſo wird durch den bei der Rotation erzeugten Inductionsſtrom Waſſer zerſetzt.

Wird der Verbindungsdraht zwiſchen *x* und *y* ſpiralförmig um ein weiches Eiſen gewunden, ſo wird dieſes durch den Inductionsſtrom magnetiſch.

Wenn der Inductionsſtrom durch einen ganz dünnen und kurzen Platindraht geleitet wird, ſo wird derſelbe glühend.

Die Fig. 86 iſt eigentlich nur das Schema einer magnet-elektriſchen Rotationsmaſchine; wenn, wie es in dieſer Figur der Fall iſt, die Kurbel unmittelbar an der Umdrehungsaxe angebracht wäre, ſo würde man nicht im Stande ſeyn, eine hinlängliche Rotationsgeſchwindigkeit zu erlangen, die Bewegung muß deshalb durch irgend eine Vorrichtung von der Kurbel zur Axe des Inductors ſo übertragen werden, daß die Inductoraxe ſich raſcher umdreht als die Kurbelaxe. Gewöhnlich geſchieht dies dadurch, daß an der Kurbelaxe eine größere, an die Inductoraxe eine kleinere Scheibe befeſtigt iſt, welche Scheiben dann durch einen Schnurlauf verbunden ſind, wie man dies an Ettingshauſen's Magnetelektriſirmaſchine ſieht.

Der ſchon oben Seite 84 beſchriebene Apparat Fig. 89 kann auch zur Hervorbringung von Inductionsſtrömen gebraucht werden. Zu dieſem Zwecke ſtellt man nur die Verbindungsbügel *s*, Fig. 90, parallel mit den Federn 1 und 2, ſo daß keine metalliſche Verbindung zwiſchen 1 und 2 beſteht; der negative Poldraht wird nun in das Säulchen der Feder 1 eingeſchraubt. Der Strom tritt nun durch die Feder 5 ein, durchläuft

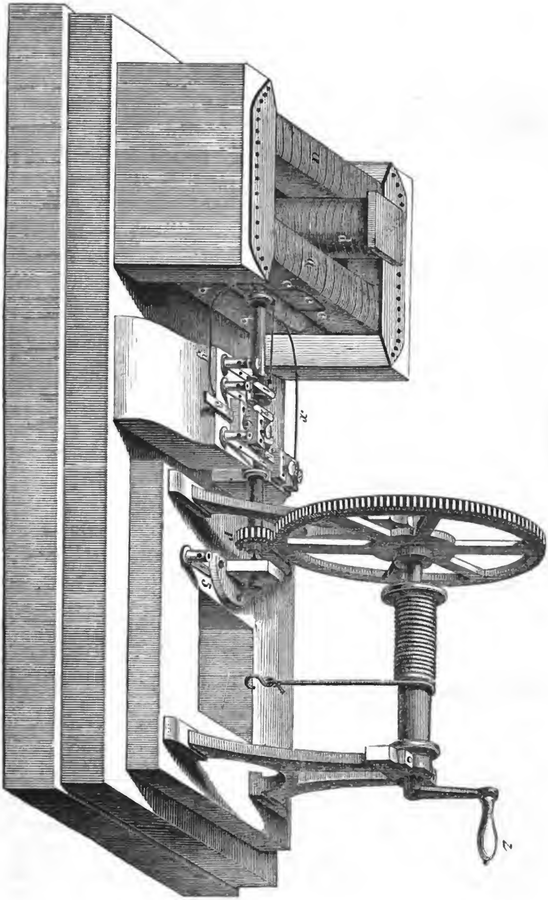
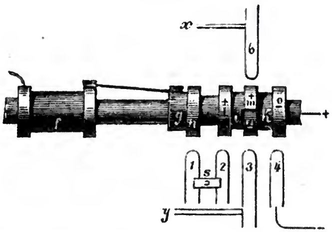


Fig. 89.

die Windungen des Elektromagneten und tritt durch die Feder 1 aus, ohne in die Windungen der Rahmen eintreten zu können. Wird nun der Elektromagnet mit Hülfe der Kurbel *z* umgedreht, ſo entſteht in den Windungen der Rahmen ein Inductionsſtrom, ſobald die Säulchen der Federn 2 und 4 in leitende Verbindung gebracht werden.

Fig. 90.



Da dieſer Inductionsſtrom durch den Commutator *mn* geht, ſo erhält man ihn gleich commutirt, d. h. ſtets in gleicher Richtung und nicht bei jeder Umdrehung einmal richtungswechſelnd, wie er in den Spiralen urſprünglich entſtand.

Dieſer Inductionsſtrom iſt ſtark genug, um einen dünnen Platindraht in's Glühen zu bringen. Beim Schließen und Oeffnen des Inductionsſtromes entſtehen Funken.

Wenn die Spiralen der Rahmen nicht geſchloſſen ſind, ſo kann natürlich auch kein Strom in denſelben inducirt werden. Hängt man nun ein Gewicht an die Schnur, ſo rotirt der Elektromagnet mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit, welche ſogleich abnimmt, wenn man durch metalliſche Verbindung der Säulchen 2 und 4 die Rahmenſpirale ſchließt, ein Beweis, daß der inducirte Strom hemmend auf die Rotation des Magneten wirkt. Dieſe Hemmung wird um ſo merklicher, je ſchneller die Rotation iſt.

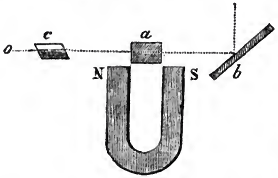
Einwirkung des Magnetismus und des elektriſchen Stromes auf das polariſirte Licht.

Faraday, welchem wir ſchon ſo viele wichtige Entdeckungen im Felde der Elektricitätslehre verdanken, hat in der neueſten Zeit wieder Thatſachen nachgewieſen, welche durch ihre vollſtändige Neuheit allgemeine Verwunderung erregten, und welche den Naturforſchern abermals ein bis dahin ganz unbekanntes Feld eröffneten; er hat gezeigt, daß das optiſche Verhalten vieler Körper durch den Einfluß von Magneten und elektriſchen Strömen modificirt wird.

Ein Stück kieſel-borſaures Bleioxyd, welches Faraday kurz

auch ſchweres Glas nennt, von ungefähr 2 Zoll Länge, wurde in der Art zwiſchen die beiden Pole N und S eines Elektromagneten gebracht, wie es Fig. 91 zeigt. Durch dieſes Glasſtück a ging nun ein Lichtſtrahl in einer Richtung hindurch, welche mit der Verbindungslinie der beiden Pole N und S parallel iſt. Dieſer von einer Argand'ſchen Lampe kommende Strahl war durch den Glasſpiegel b polariſirt und wurde durch das Nichol'ſche Prisma c analyſirt.

Fig. 91.



Das Prisma c wurde ſo gedreht, daß nach Wegnahme von a das Geſichtsfeld dunkel erſchien, daß alſo die Polariſationsebene des Prismas c rechtwinklig zu der des Polariſationsſpiegels b war. Durch Zwiſchenbringung von a wurde nichts geändert, das Geſichtsfeld blieb dunkel, ſo lange kein Strom durch die Drahtwindungen des Elektromagneten ging, ſobald aber das weiche Eiſen durch den elektriſchen Strom magnetiſch gemacht wurde, erſchien das Geſichtsfeld hell; man mußte das Nichol'ſche Prisma nach der rechten oder linken Seite drehen, um das Geſichtsfeld wieder dunkel zu machen.

Durch die Einwirkung des Elektromagneten auf a war alſo die Polariſationsebene der von b kommenden Strahlen nach der rechten oder linken Seite gedreht worden.

Mit einem ſtarken Stahlmagneten kann man nur eine ſehr unbedeutende Drehung der Polariſationsebene erlangen; mit einem ſolchen iſt alſo die Erſcheinung nicht ſehr deutlich. Der Elektromagnet, den Faraday anwandte, war ſo ſtark, daß ein Pol für ſich allein 28 bis 56 Pfund tragen konnte.

Iſt durch die Einwirkung des Elektromagneten das vorher dunkle Geſichtsfeld hell gemacht worden, ſo wird es alsbald wieder dunkel, wenn man den Strom unterbricht.

Wenn der dem Beobachter in o zunächſt liegende Pol derjenige iſt, welcher dem Nordende der Magnetnadel entſpricht, ſo iſt die Polariſationsebene nach der rechten gedreht, nach der linken aber, wenn der Südpol der dem Beobachter zugekehrte iſt.

Wäre an die Stelle von a ein Eiſenſtab gebracht worden, ſo wäre er in einen Magneten verwandelt worden. Die Richtung, nach welcher ein in a befindliches Eiſen vom poſitiven Strom umkreiſ't werden müßte, um ihm dieſelbe Polarität mitzutheilen, die es unter dem Einfluß der

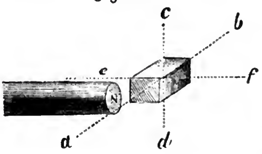
Magnetpole *N* und *S* erhält, iſt dieſelbe, nach welcher die Polariſationsebene im ſchweren Glaſe durch den Einfluß derſelben Magnetpole gedreht wird.

Auch ein einziger Pol kann ſchon die erwähnten Wirkungen hervorbringen. Wird das kieſel-borſaure Bleioxyd neben den einen Pol eines kräftigen ſtabförmigen Elektromagneten gebracht, ſo iſt auch hier eine Drehung der Polariſationsebene eines polariſirten Strahls zu beobachten, welcher das ſchwere Glas durchläuft.

Die Drehung der Polariſationsebene wird am vollſtändigſten beobachtet, wenn der Strahl in derjenigen Richtung durch das ſchwere Glas geht, welche die Axe des Magneten ſeyn würde, welcher entſtände, wenn man für das ſchwere Glas ein Stück Eiſen ſubſtituirte.

In Fig. 92 ſtelle *N* den Pol oder Elektromagneten, der neben ihm ſtehende rechteckige Körper das ſchwere Glas dar. Wäre es Eiſen, ſo würde es zu einem Magneten werden, deſſen Axe mit den Linien *ab* zuſammenfällt (Faraday nennt dieſe Richtung eine Magnetkraftlinie), ein in dieſer Richtung das ſchwere Glas durchlaufender polariſirter Strahl erfährt nun durch den Einfluß des Elektromagneten eine Drehung ſeiner Polariſationsebene. Je mehr die Richtung des durchgehenden Strahls von der Richtung der Magnetkraftlinie abweicht, deſto geringer iſt die Drehung ſeiner Polariſationsebene, ſie iſt Null für alle Strahlen, welche das ſchwere Glas rechtwinklig zur Magnetkraftlinie durchlaufen. Ein Strahl *cd* oder *ef* würde alſo keine Drehung der Polariſationsebene erfahren.

Fig. 92.



Für den Körper *a*, Fig. 91, iſt *ab* die Magnetkraftlinie; an einem polariſirten Strahl, welcher *a* rechtwinklig zu *ob* durchläuft, iſt keine Drehung der Polariſationsebene zu beobachten.

Das borſaure Blei zeigt die erwähnten Erſcheinungen eben ſo gut wie das kieſel-borſaure; Flintglas zeigt ſie in geringerem Grade, Kronglas in noch ſchwächerem Maaße.

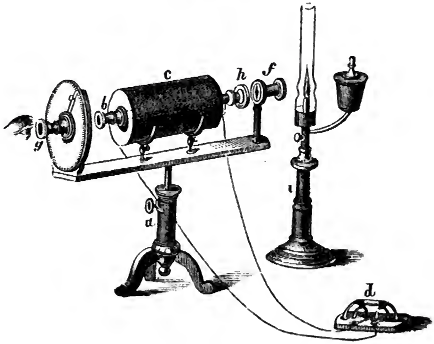
Steinſalz, Flußſpath, Alaun zeigten Spuren einer Drehung, beim Bergkryſtall, Kalkſpath, Schwerſpath, Gyps, kohlenſauren Natron wurde gar nichts der Art beobachtet.

Die Drehung der Polariſationsebene durch den Einfluß des Magnetismus wurde endlich auch an Flüſſigkeiten beobachtet, namentlich bei Waſſer, Alkohol, Aether, Oelen, wäſſerigen und weingeiſtigen Löſungen u. ſ. w.

Nach den erwähnten Erſcheinungen ließ ſich erwarten, daß ein elektriſcher Strom, in Form eines Schraubendrahtes, um die durchſichtigen Körper herumgeleitet, ebenfalls eine Drehung der Polariſationsebene bewirken müſſe. Faraday fand dies vollkommen beſtätigt.

Fig. 93 ſtellt einen Apparat dar, wie ihn Böttger auf die erſte Nachricht der Faraday'ſchen Entdeckung conſtruirte, um die Drehung der Polariſationsebene durch den elektriſchen Strom zu zeigen. *g* und

Fig. 93.



f ſind zwei Nichol'ſche Prismen; *b h* iſt eine an beiden Enden mit Glasplatten verſchloſſene Meſſingröhre, die mit der zu unterſuchenden Flüſſigkeit gefüllt iſt; ſie ſteckt in einer eiſernen Röhre, die von der elektromagnetiſchen Spirale *c* umgeben iſt. Man ſieht durch die beiden Nichol'ſchen Prismen und die mit der Flüſſigkeit gefüllte Röhre nach den Flammen einer Argand'ſchen Lampe. Das Ocularprisma *g* wird ſo gedreht, daß das Geſichtsfeld dunkel iſt; läßt man nun einen kräftigen galvaniſchen Strom durch die Spirale gehen, ſo erſcheint alsbald die Flamme wieder, und man muß *g* nach der rechten oder linken Seite drehen, um ſie wieder verſchwinden zu machen.

Der Gyrotrop *d* dient zur leichtern Richtungsänderung des Stromes.

Wie ſich nach den mit dem Elektromagneten erhaltenen Reſultaten erwarten ließ, wird die Polariſationsebene des Strahls nach derſelben Richtung gedreht, nach welcher der poſitive Strom in der Spirale circulirt.

Bringt man Körper, welche ſchon von Natur ein Drehungsvermögen beſitzen, in die Rolle, ſo iſt der Effekt des elektriſchen Stromes zu dem

ihrer eigenen Kraft zu addiren oder davon abzuziehen, je nachdem der Strom die Polariſationsebene nach derſelben oder nach der entgegengeſetzten Richtung dreht, wie die Flüſſigkeit ſelbſt.

Die Drahtſpiralen, welche Faraday zu ſeinen Verſuchen anwandte, waren ziemlich lang; eine hatte eine Länge von 65 Zoll und war durch zwei Lagen von Windungen eines 0,03 Zoll dicken Drahtes gebildet, deſſen Geſammtlänge 1240 Fuß betrug, ſie hatte einen inneren Durchmeſſer von 0,4 Zoll. Eine zweite Spirale hatte eine Länge von 26,5 Zoll, einen inneren Durchmeſſer von 2,5 Zoll und war durch einen 500 Fuß langen, 0,17 Zoll dicken Kupferdraht gebildet.

Bezeichnet man die Größe der Drehung der Polariſationsebene, welche einen elektriſchen Strom unter geeigneten Umſtänden in einer Waſſerſäule hervorbringt, mit 1, ſo iſt die Größe dieſer Drehung, welche derſelbe Strom unter denſelben Umſtänden in Säulen von denſelben Dimenſionen hervorbringt für

Flintglas . . .	2,8
Schweres Glas .	6,0

für Alkohol kleiner als für Waſſer, für Aether kleiner als für Alkohol.

Zwiſchen der Drehung der Polariſationsebene durch den elektriſchen Strom und der Drehung derſelben in einem Körper, welcher die Eigenſchaft der Circularpolariſation beſitzt, beſteht ein weſentlicher Unterſchied.

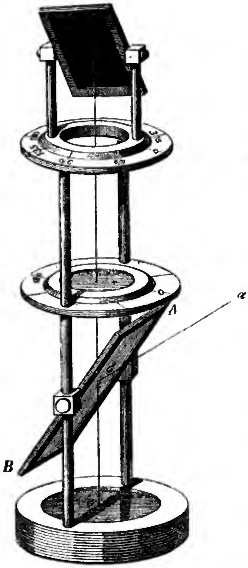
Fig 94.

In Fig. 94 ſtelle der Cylinder M ein Diamagneticum (ſo nennt Faraday alle Körper, auf welche der Magnetismus in anderer Weiſe wirkt als auf magnetiſche Körper) dar, welches in der Richtung der Pfeile von elektriſchen Strömen umkreiſ't wird, ſo wird auch die Polariſationsebene eines Strahls, welcher M in der Richtung der Axe durchläuft, ſtets nach der Richtung der Pfeile gedreht. Geht nun der Strahl in der Richtung von a nach b fort, ſo beobachtet alſo ein in b befindliches Auge eine Drehung nach der Linken, während, wenn der Strahl ſich von b nach a fortpflanzte, ein in a befindliches Auge unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden eine Drehung nach der Rechten beobachtet. Bei circularpolariſirenden Körpern iſt das nicht ſo. Wäre M ein rechtsdrehender circularpolariſirender Körper, ſo würde man die Polariſationsebene nach der rechten Seite gedreht finden, möchte man nun von b nach a oder von a nach b ſchauen.

Dringt ein Lichtſtrahl in ein circularpolariſirendes Mittel in der Richtung von b nach a, ſo würde, vorausgeſetzt, daß das Mittel ein rechtsdrehendes iſt, einem in a befindlichen Auge die Polariſationsebene des

einfallenden Strahles nach der rechten Seite, alſo in der Richtung der Pfeile gedreht erſcheinen. Wenn aber nun die Endfläche links belegt iſt, ſo daß der ſie treffende Strahl reflectirt wird, ſo wird der reflectirte Strahl eine ſolche Drehung der Polariſationsebene erleiden, daß ſie einem in *b* befindlichen Auge nach der rechten gedreht erſcheint, für den reflectirten Strahl findet alſo eine Drehung der Polariſationsebene in einer der Richtung der Pfeile entgegengeſetzten Richtung Statt.

Fig. 95.



Abſolut genommen iſt alſo die Richtung der Drehung der Polariſationsebene vor und nach der Spiegelung eine entgegengeſetzte, die Drehung, welche die Polariſationsebene des Strahls von ſeiner Reflexion erlitten hat, wird durch die entgegengeſetzte Drehung, die er nach ſeiner Reflexion erleidet, wieder aufgehoben; das Auge in *b* wird alſo gar keine Drehung der Polariſationsebene an dem von *a* her kommenden Strahl beobachten können.

Legt man eine ſenkrecht zur Axe geſchnittene Quarzplatte auf den mittleren Tiſch des Nörrembergiſchen Polariſationsapparates, ſo beobachtet man die ſchon früher beſchriebenen Erſcheinungen der Circularpolariſation, legt man aber die Quarzplatte auf den belegten Spiegel *c* im Fuße des Polariſationsapparates Figur 95, ſo tritt der eben beſprochene Fall ein, man beobachtet keine Drehung der Polariſationsebene mehr.

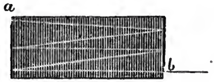
Da die Drehung der Polariſationsebene durch den Einfluß des elektriſchen Stromes nur von der Richtung dieſes Stromes abhängt, da ſie abſolut dieſelbe iſt, mögen die Strahlen nach der einen oder nach der anderen Seite fortgehen, ſo findet hier keine Aufhebung der Drehung der Polariſationsebene Statt, wenn der Strahl an der Rückwand geſpiegelt wieder zurückläuft.

Wenn der Körper *M*, Fig. 94, durch elektriſche Ströme die Eigenſchaft erhalten hat, die Polariſationsebene zu drehen, ſo wird ein in *b* befindliches Auge die Polariſationsebene des an der anderen Endfläche reflectirten Strahles doppelt ſo ſtark gedreht finden, als wenn der Strahl hier ausgetreten und nach *a* gelangt wäre.

Faraday hat dies ſehr ſinnreich benutzt, um die Drehung der Polariſationsebene in einem kurzen Stück eines Diamagneticums ſehr merklich zu machen.

Ein Parallelopiped von ſchwerem Glaſe, 2,5 Zoll lang, deſſen Querſchnitt ein Quadrat von 7 Linien Seite war, wurde an beiden Enden polirt und verſilbert. Auf der einen Seite wurde die Belegung bei *a*, auf der andern Seite wurde ſie bei *b* auf etwa 1 Linie Breite weggenommen, ſo daß ein bei *a* etwas ſchräg eintretender Strahl, nachdem er den Körper mehrmals hin- und hergehend durchlaufen hatte, bei *b* austreten konnte. Hat der Strahl auf dieſe Weiſe 5, 7, 9 u. ſ. w. mal die ganze Länge des Diamagneticums durchlaufen, ſo iſt die Drehung der Polariſationsebene 5, 7, 9 u. ſ. w. mal ſo groß, als wenn er nur einmal gerade durchgegangen wäre.

Fig. 96.

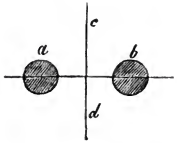


Abſtoßende Wirkung der Magnete auf nicht magnetiſche Körper.

Ohne Zweifel wirken die magnetiſchen Kräfte auf die innere Conſtitution der Diamagnetica eben ſo frei im Dunkeln, wie wenn ein Lichtſtrahl durch ſie geht; ferner muß eine ſolche Abänderung auch opaken Körpern zukommen. Faraday hat dies durch weitere Verſuchsreihen vollkommen beſtätigt, er hat gezeigt, daß die Magnetkraft auf alle Körper wirkt, daß aber die Wirkung auf magnetiſche Körper eine andere iſt, als auf die diamagnetiſchen.

Bringt man einen Stab ſchweren Glaſes an Seidenfäden ſo aufgehängt, daß ſeine Längenaxe horizontal iſt und er ſich in horizontaler Ebene frei drehen kann zwiſchen die beiden Pole eines ſehr kräftigen Elektromagneten, welcher ſo geſtellt iſt, daß ſeine beiden Pole nach Oben gerichtet ſind, ſo beobachtet man die merkwürdige Erſcheinung, daß ſich der Glasſtab rechtwinklig zu der Verbindungslinie der beiden Pole ſtellt, und aus dieſer Lage herausgebracht nach einigen Schwingungen ſtets wieder in dieſelbe zurückkehrt.

Fig. 97.



In Fig. 97 ſeien *a* und *b* die beiden nach Oben gerichteten Pole eines vertikal geſtellten kräftigen Elektromagneten, ſo iſt *cd* die Lage, welche der Glasſtab einnimmt. Hätte man ſtatt des Glasſtabes einen Eiſenſtab zwiſchen den Polen aufgehängt, ſo hätte er ſich in die Richtung geſtellt, welche die Magnetpole verbindet.

Faraday nennt die Richtung *ab* die axiale, *cd* die äquatoriale Lage. Ein Eiſenſtab ſtellt ſich alſo zwiſchen den beiden Magnetnadeln axial, der Glasſtab ſtellt ſich äquatorial.

Eine Menge anderer Körper geben daſſelbe Reſultat; beſonders ſtark zeigt ſich die Kraft, welche den Stab in die äquatoriale Lage führt, beim Phosphor und Wismuth. Auch auf Flüſſigkeiten übt der Magnet dieſe Wirkung aus.

Flintglas ſtellt ſich ebenfalls äquatorial, wenn aber eine Röhre daraus ſehr dünnwandig iſt, giebt ſie für ſich allein nur eine ſehr ſchwache Wirkung. Wird ſie nun mit Flüſſigkeit gefüllt, ſo iſt die Wirkung ſo ſtark, daß man nicht zu fürchten braucht, den Effect des Glaſes mit dem der Flüſſigkeit zu verwechſeln.

Damit ein Körper die äquatoriale Stellung einnehme, iſt es nöthig, daß er nach einer Richtung mehr ausgedehnt ſey, als nach allen andern, daß er alſo eine längliche, ſtabförmige Geſtalt hat. Hängt man eine Kugel oder einen Würfel von Phosphor oder Wismuth in der Mitte zwiſchen beiden Magnetpolen auf, ſo richtet ſich dieſer nicht; einem der Pole genähert beobachtet man aber eine Abſtoßung, welche auffallend einer ſchwachen elektriſchen Abſtoßung ähnelt.

Auf die diamagnetiſchen Körper wirken alſo kräftige Magnetpole abſtoßend; durch dieſe Abſtoßung erklärt ſich nun auch leicht, warum Stäbe diamagnetiſcher Körper ſich zwiſchen den beiden Magnetnadeln äquatorial ſtellen.

In Beziehung auf ihr Verhalten gegen den Magnetismus zerfallen alſo alle Körper in zwei Abtheilungen, in die magnetiſchen und die diamagnetiſchen. Die magnetiſchen ſtellen ſich axial, die diamagnetiſchen ſtellen ſich äquatorial.

Durch Anwendung ſehr kräftiger Elektromagnete ergiebt ſich, daß die Klaſſe der magnetiſchen Körper zahlreicher iſt, als man durch die gewöhnlichen Prüfungsmittel nachweiſen konnte, es ſtellen ſich nämlich ſehr ſchwach magnetiſche Körper, die ſonſt keine Spur von Magnetismus zeigen, zwiſchen den Polen kräftiger Elektromagnete noch axial. Faraday fand durch dieſes Mittel, daß außer den drei bekannten magnetiſchen Metallen auch noch Mangan, Chrom, Cer, Titan, Palladium, Platin und Osmium magnetiſch ſind.

Faſt alle Eiſenverbindungen erweiſen ſich zwiſchen den Polen des Elektromagneten als magnetiſch, ſo z. B. grünes Bouteillenglas. Auch die Eiſenſalze ſind magnetiſch und ſtellen ſich axial, mag man ſie nun als Kryſtalle oder in aufgelöſ'tem Zuſtande in dünnwandigen Glasröhren anwenden.

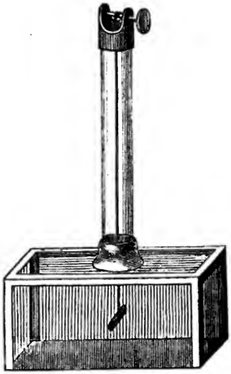
Der ſchon oben Seite 79 beſchriebene Elektromagnet hat eine für Verſuche über Diamagnetismus ſehr geeignete Form.

Um Verſuche mit diamagnetiſchen Körpern anzuſtellen, muß man die Magnetpole beliebig nähern können. Um dies zu erreichen, wird auf jeden Pol des Elektromagneten ein Stück weiches Eiſen gelegt, von der Form, wie man ſie Fig. 98 ſieht. Auf einer Seite iſt jedes dieſer Eiſenſtücke koniſch zugeſpitzt, und ſie werden ſo auf die oberen Enden des Uförmigen Eiſens aufgelegt, daß die Spitzen einander zugekehrt ſind. Dieſe Spitzen bilden nun die Pole, zwiſchen denen der zu unterſuchende Körper aufgehängt wird.

Fig. 98.

Um den zwiſchen den beiden Polen hängenden Körper vor Luftzug zu ſchützen, wird auf das Tiſchlein *t*, Fig. 70, aus welchem die Magnetpole hervorragen, ein Glaskaſten geſetzt. Ein ſolcher Glaskaſten von möglichſt einfacher Einrichtung (die Kanten ſind durch Papierſtreifen verklebt) iſt durch Fig. 99 dargeſtellt. Die obere Glasplatte hat in der Mitte ein Loch, über welchem ſich eine Glasröhre erhebt; an dem oberen Ende iſt eine Faſſung mit einem horizontalen drehbaren Stäbchen angebracht, an welchem der Seidenfaden hängt, der den zu unterſuchenden Körper trägt. Durch Drehen dieſes Stäbchens kann man den unten hängenden Körper beliebig heben und ſenken.

Fig. 99



Beim Etter'ſchen Apparate hat dieſer Aufſatz ganz die Einrichtung der Coulomb'ſchen Drehwage; auf der oberen Faſſung der Röhre dreht ſich ein getheilter Metallring, welcher die zum Aufwinden des Fadens dienende Welle trägt; durch dieſe Drehung kann man das zu unterſuchende Stäbchen leicht in jede beliebige Lage bringen; die Theilung iſt jedoch hier zwecklos, ſie kann füglich wegbleiben, wenn man den Apparat nicht auch ſonſt noch gebrauchen will. Bei der Fig. 99 dargeſtellten Einrichtung ſteckt die Glasröhre unten in einer ringsum mit Tuch belegten Holzfaſſung, die auf die obere Glasplatte des Käſtchens aufgeleimt iſt, man kann alſo die ganze Glasröhre ſehr ſicher um ihre vertikale Axe umdrehen und dadurch das Stäbchen in die beliebige Lage bringen.

Es iſt zweckmäßig, das Stäbchen in einer Schleife des Fadens zu be-

feſtigen und nicht in ein Schiffchen zu legen, weil die Magnetpole ſchon auf die Subſtanz des Schiffchens wirken, wodurch die Reſultate unſicher werden.

Hat man den zu prüfenden Körper gehörig aufgehängt, und den Glaskaſten auf das Tiſchlein *t* geſetzt, während die Kette noch nicht geſchloſſen iſt, ſo läßt man nun das Stäbchen herab, bis es zwiſchen den beiden Spitzen in der Mitte hängt; die Entfernung der beiden Spitzen muß etwas größer ſeyn als die Länge des Stäbchens. Wenn das Stäbchen in einer Lage zur Ruhe gekommen iſt, welche ungefähr zwiſchen der axialen und der äquatorialen in der Mitte liegt, ſo wird es, je nachdem ſeine Subſtanz magnetiſch oder diamagnetiſch iſt, entweder nach der axialen oder äquatorialen Lage hingetrieben, ſobald man die Kette ſchließt; begreiflicher Weiſe kommt aber das Stäbchen nicht ſogleich in ſeiner neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe, ſondern es ſchwingt um dieſe Gleichgewichtslage mit einer Geſchwindigkeit, die von der Stärke abhängt, mit welcher die Magnetpole einwirken. Bei einiger Stärke des Elektromagneten ſind dieſe Oscillationen ſehr lebhaft und unterſcheiden ſich dadurch ſehr weſentlich von den äußerſt langſamen Schwingungen des Stäbchens, welche eine Folge der ſchwachen Torſion des Seidenfadens ſind; ſobald man die Kette öffnet, oscillirt das Stäbchen wieder ſehr langſam um ſeine frühere, durch den Faden bedingte Gleichgewichtsſtellung.

Die Abſtoßung diamagnetiſcher Körper durch die Magnetpole läßt ſich am auffallendſten folgendermaßen zeigen. Man hänge ſtatt des Stäbchens eine kleine Kugel von ungefähr $\frac{3}{4}$ Linie Durchmeſſer an den Seidenfaden, deren Subſtanz ſehr ſtark diamagnetiſch iſt, alſo etwa ein Kügelchen von Wismuth. Die Eiſenſtücke nähert man nun ſo weit, daß die Spitzen nur unbedeutend mehr von einander abſtehen als der Durchmeſſer des Kügelchens beträgt. So lange die Kette nicht geſchloſſen iſt, kann man machen, daß das Kügelchen gerade in der Mitte zwiſchen den beiden Spitzen hängt, ſobald man aber die Kette ſchließt, wird das Kügelchen ſeitwärts zwiſchen den beiden Spitzen herausgetrieben, ſo daß der Faden, an dem es hängt, merklich von ſeiner vertikalen Richtung abgelenkt iſt. Beim Oeffnen der Kette fällt das Kügelchen wieder zurück.

Plücker hat viele doppeltbrechende Kryſtalle auf ihr Verhalten zwiſchen den Polen des Elektromagneten unterſucht, und dabei eine ſehr merkwürdige Eigenthümlichkeit der optiſchen Axe gefunden.

Eine Turmalinplatte, welche einer Turmalinzange entnommen, alſo parallel mit der Axe geſchliffen war, wurde ſo aufgehängt, daß die Richtung der Axe mit der Richtung des Fadens zuſammenfiel (es iſt dies in Fig. 507 durch die Schraffirung angedeutet; die Schraffirungslinien ſind der optiſchen Axe der Platte parallel). Die Platte ſtellt ſich zwiſchen

den Polen des Elektromagneten axial; der Turmalin iſt alſo eine magnetiſche Subſtanz (was wohl von ſeinem Eiſengehalte herrührt). Nun wurde dieſelbe Platte ſo aufgehängt, daß die Richtung der optiſchen Axe rechtwinklig zu der des Fadens war, wie dies Fig. 101 angedeutet iſt; jetzt ſtellte ſich die Platte äquatorial.

Fig. 100.

Fig. 101.

Dieſe Erſcheinung läßt ſich durch die Annahme erklären, daß die Magnetpole eine abſtoßende Wirkung auf die optiſche Axe ausüben; bei der erſten Aufhängungsart bildet die optiſche Axe die Umdrehungsaxe des Kryſtalls, jene Abſtoßung der optiſchen Axe kommt alſo hier nicht in's Spiel, die Platte wird alſo in Folge ihrer magnetiſchen Eigenſchaften axial geſtellt; bei der zweiten Aufhängung aber überwindet die Abſtoßung der optiſchen Axe die magnetiſche Anziehung und die Platte ſtellt ſich äquatorial.

Ganz eigenthümliche Modificationen beobachtet man, wenn man ſtatt der Turmalinplatte einen ſäulenförmig kryſtalliſirten Turmalin anwendet, deſſen Längendimenſionen ſehr entſchieden vorherrſchen. Hängt man dieſe Säule ſo auf, daß die Säulenaxe (welche hier mit der optiſchen Axe zuſammenfällt) horizontal hängt, ſo ſtellt ſich die Säule axial, wenn die Polſpitzen ſo weit genähert ſind, daß die Längenaxe der Säule nur noch eben zwiſchen ihnen Platz hat; werden dagegen die Polſpitzen mehr entfernt, ſo ſtellt ſich der Kryſtall äquatorial.

Statt die Polſpitzen zu entfernen, iſt es bequemer, ſie unverändert zu laſſen, und den Kryſtall durch Drehung der Welle, an welcher der Seidenfaden befeſtigt iſt, zu heben.

Hängt der Kryſtall gerade zwiſchen den möglichſt genäherten Polſpitzen, ſo ſtellt er ſich axial; hebt man ihn allmälig, ſo nimmt die Kraft, welche ihn axial ſtellt, ab, und bei einer beſtimmten Hebung dreht er ſich um 90°, ſo daß er nun die äquatoriale Stellung einnimmt.

Bei großer Nähe der Polſpitzen iſt alſo der Magnetismus der Subſtanz, bei größerer Entfernung von den Polſpitzen iſt die Abſtoßung der optiſchen Axe überwiegend.

Verſuche mit andern einaxigen Kryſtallen geben ähnliche Reſultate, ſie zeigen ebenfalls eine eigenthümliche Abſtoßung der optiſchen Axe, welche unter Umſtänden die Wirkung der Magnetpole auf die übrige Maſſe überwiegen kann.

Die Maſſe des Kalkſpaths z B. iſt an und für ſich diamagnetiſch. Hält man nun eine ſenkrecht zur Axe geſchliffene Kalkſpathplatte, wie man ſie braucht, um das Ringſyſtem zu zeigen, ſo auf, daß die Schnittflächen

vertikal ſind, daß ſich alſo die optiſche Axe des Kryſtalls in einer horizontalen Ebene umdrehen kann, ſo ſtellt ſich die Platte bei möglichſt genäherten Polſpitzen äquatorial alſo in der Weiſe, daß die optiſche Axe des Kryſtalls mit den Verbindungslinien der beiden Polſpitzen zuſammenfällt. Hier alſo iſt es jedenfalls der Diamagnetismus, welcher die Stellung der Platte beſtimmt. Wird nun die Platte durch Umdrehung der Welle, an welcher der Faden befeſtigt iſt, gehoben, ſo kommt man bald zu einer Stelle, wo ſich der Kryſtall um 90° dreht, ſo daß er ſich axial ſtellt, während die optiſche Axe der Platte rechtwinklig zur Verbindungslinie der Polſpitzen ſteht; in dieſer letzteren Lage hat nun die abſtoßende Wirkung auf die optiſche Axe das Uebergewicht über diejenige Wirkung, welche die Magnetpole auf die Maſſe des Kalkſpaths, als eine diamagnetiſche Subſtanz, ausüben.

Zweiaxige Kryſtalle geben ähnliche Reſultate, und zwar zeigt ſich, daß jede optiſche Axe abgeſtoßen wird.

Fig. 102.

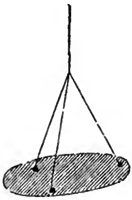
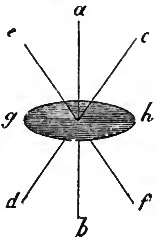


Fig. 103.



Einen entſchiedenen Beweis für dieſe Behauptung liefert folgender, von Plücker angeſtellter Verſuch. Eine Glimmerſcheibe wurde kreisförmig geſchnitten und ſo aufgehangen, daß ihre Ebene horizontal war, alſo in der Weiſe, wie es Fig. 102 andeutet. Mag nun der Glimmer an und für ſich magnetiſch oder diamagnetiſch ſeyn, ſo iſt deshalb kein Grund vorhanden, warum dieſe Scheibe irgend eine beſtimmte Lage annehmen ſollte, und doch ſtellte ſich die Scheibe zwiſchen den Polſpitzen ſtets ſo, daß die Ebene der optiſchen Axen rechtwinklig auf der Verbindungslinie der Polſpitzen ſtand.

Bekanntlich liegt die optiſche Mittellinie des Glimmers rechtwinklig auf der Ebene der Blätter. In Fig. 103 ſtelle die ſchattirte Scheibe das kreisförmige horizontal hängende Glimmerblatt dar, ſo iſt *ab* die Richtung der Mittellinie. Sind ferner *cd* und *ef* die optiſchen Axen, ſo iſt *gh* die Linie, in welcher die Ebene der optiſchen Axen die Ebene des Glimmerblattes durchſchneidet. Das Glimmerblatt wird nun zwiſchen den Polſpitzen ſtets ſo geſtellt, daß *gh* rechtwinkelig ſteht zur Verbindungslinie der Polſpitzen.

Dies Reſultat läßt ſich nicht erklären durch eine Abſtoßung der Mittellinie, ſondern nur durch eine Abſtoßung der beiden optiſchen Axen.

Andere Verſuche mit zweiaxigen Kryſtallen gaben ähnliche Reſultate.

Plücker fand ferner, daß ſich Stäbchen von Holz und Kohle, Streifen aus der Rinde von Baumzweigen u. ſ. w. bei großer Nähe der Polſpitzen äquatorial ſtellen, bei größerer Entfernung von den Polſpitzen aber in die axiale Lage übergehen. Dies erklärt ſich nun nach Plücker's Anſicht dadurch, daß dieſe Körper aus magnetiſchen und diamagnetiſchen Beſtandtheilen beſtehen, und daß die Wirkung der Pole auf die diamagnetiſchen Theilchen raſcher mit der Entfernung abnimmt, als die Wirkung auf die magnetiſchen.

Durch Zuſammenſchmelzen von Stanniol, der wahrſcheinlich wegen ſeines Eiſengehaltes magnetiſch war, mit Wismuth, der ja entſchieden diamagnetiſch iſt, gelang es ihm, Stäbchen anzufertigen, die, wie Holz und Kohle, bei nahen Polſpitzen ſich äquatorial, bei entfernten Polſpitzen aber axial ſtellten.

Leitungsfähigkeit verſchiedener Metalle.

Um die Leitungsfähigkeit verſchiedener Metalle mit einander zu vergleichen, iſt wohl keine Methode einfacher und ſicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenbouſſole zu leiten, Drähte verſchiedener Metalle in den Schließungsbogen einzuſchalten und die entſprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Ganz außerordentlich wird die Beſtimmung des Leitungswiderſtandes durch ein Inſtrument erleichtert, welches unter dem Namen des Rheoſtaten bekannt iſt; ſein Zweck iſt, nach Belieben den Leitungswiderſtand im Schließungsbogen jeden Augenblick vermehren und vermindern zu können, ohne die Kette zu öffnen.

Solche Inſtrumente ſind von Wheatſtone, Jacobi und Pretina conſtruirt worden; Wheatſtone ſelbſt hat dem Inſtrumente verſchiedene Formen gegeben. Eine derſelben iſt Fig. 104 und Fig. 105 dargeſtellt. Fig. 105 zeigt das Inſtrument im Grundriß, Fig. 104 zeigt es im Aufriß, und zwar in $1/7$ der natürlichen Größe. Auf einem Cylinder von trockenem Holz, der um ſeine Axe mit Hülfe einer Kurbel umgedreht werden kann, iſt ein Schraubengang eingeſchnitten. (In unſerer Figur iſt derſelbe verhältnißmäßig viel zu grob gezeichnet; auf die Länge des Cylinders gehen ungefähr 80 Umgänge.) In dieſen Schraubengang iſt ein Draht entweder von Meſſing oder von Neuſilber gewunden. Neuſilber bietet den Vortheil, daß man bei gleichem Leitungswiderſtande einen dickern Draht wählen kann. Am einen Ende *a* des Cylinders iſt der Draht auf dem Holze befeſtigt; am andern Ende *b* geht er durch ein Loch im Holze hindurch nach der eiſernen Umdrehungsaxe des Cylinders, auf welcher er befeſtigt iſt.

Neben dem Holzcylinder befindet ſich ein Metallſtab *c d*, welcher bei *c* eine Schraubzwinge zur Aufnahme von Drähten hat. Auf dieſen Metallſtab iſt eine Metallhülſe verſchiebbar, an welcher ein Holzklötzchen

Fig. 104.

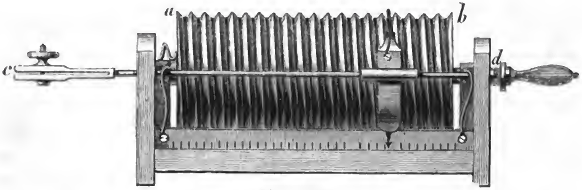
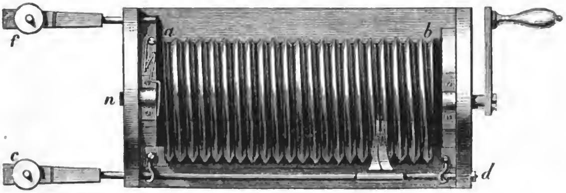


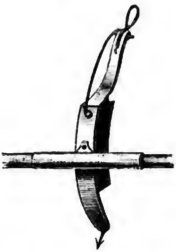
Fig. 105.



befeſtigt iſt, welches den Raum zwiſchen ihm und dem Holzcylinder ausfüllt, und in welches Rinnen geſchnitten ſind, die in die Schraubengänge des Holzcylinders paſſen, ſo daß bei Umdrehung des Cylinders die Hülſe fortgeſchoben wird, und zwar nach der einen oder andern Seite, je nachdem man rechts oder links dreht.

An der Hülſe iſt auch ein federnder Metallbogen befeſtigt, der einen gewundenen Metalldraht gegen den Draht auf den Holzcylinder drückt. Der Berührungspunkt ändert ſich natürlich, wenn die Hülſe mit allem, was daran iſt, durch Umdrehung des Cylinders fortgeſchoben wird. Die Einrichtung der Hülſe ſammt Metallbogen und Holzklötzchen iſt Fig. 106 in größerem Maaßſtabe dargeſtellt.

Fig. 106.



Wenn nun bei *c* der eine, bei *f* der andere Polardraht einer galvaniſchen Kette eingeſchraubt wird, ſo läuft der Strom folgendermaßen durch den Apparat:

Von *c* durch die Stange *cd* bis zur verſchiebbaren Hülſe, von dieſer durch den Metallbogen und ſeinen Draht auf den Draht des Holzcylinders, von dem Berührungspunkte des Schlittens

an durchläuft er dann alle Windungen nach der rechten bis *b*, geht auf die metallene Axe des Holzcylinders und auf dieſer durch denſelben der Länge nach hindurch. Auf der andern Seite drückt auf die Metallaxe eine Drahtfeder, welche den Strom auf eine Metallplatte *g* führt, von der er durch *f* austritt.

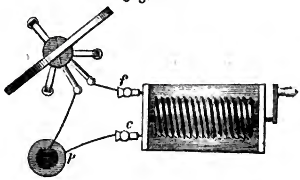
Es iſt klar, daß der Strom bald mehr, bald weniger Windungen des Rheoſtaten zu durchlaufen hat, je nachdem der Schlitten mehr nach der linken oder rechten Seite geſchoben iſt.

Wenn der Schlitten am Ende *b* des Cylinders ſteht, ſo durchläuft der Strom keine der Windungen des Cylinders. Dreht man nun die Kurbel 1mal, 2mal, 3mal . . . 10mal u. ſ. w. um, ſo wird der Schlitten um 1, 2, 3 ... 10 u. ſ. w. Schraubengänge fortgeſchoben, der Strom durchläuft jetzt außer dem Wege, den er vorher ſchon zu durchlaufen hatte, noch 1, 2, 3 . . . 10 Windungen des Drahtes auf den Holzcylinder.

Um die Anzahl der Windungen beſſer zählen zu können, iſt an dem Schlitten unten ein kleiner Pfeil angebracht, der auf einer Scala die Anzahl der Umwindungen zeigt, welche der Strom zu durchlaufen hat. Der Zeiger ſteht auf Null, wenn der Schlitten am äußerſten rechten Ende des Holzcylinders ſteht.

Um auch noch die Unterabtheilungen der einzelnen Windungen beſtimmen zu können, iſt am Ende der Umdrehungsaxe bei *n* ein Zeiger befeſtigt, welcher den Radius eines am Rande in 10 gleiche Theile getheilten Kreiſes bildet, der in unſeren Figuren natürlich unſichtbar iſt. Dieſer Zeiger ſteht auf 0, wenn der Zeiger des Schlittens auf 0, 1, 2, 3 . . . 10 u. ſ. w. ſteht. Nehmen wir an, der Zeiger des Schlittens ſtehe zwiſchen 16 und 17, der Zeiger bei *n* ſtehe auf 6, ſo hat der Strom 16,6 Windungen zu durchlaufen.

Fig. 107.



Bei *c* ſey der poſitive Pol der Kette eingeklemmt; von *f* führe ein Draht zur Tangentenbouſſole, ein anderer von dieſer zum negativen Pol der Kette, wie dies Fig. 107 angedeutet iſt. Steht das Rheoſtat auf Null, ſo zeigt die Bouſſole eine gewiſſe Ablenkung; wird nun das Rheoſtat gedreht, bis der Zeiger bei 10, 20, 30 u. ſ. w. ſteht, ſo hat nun der Strom außer dem anfänglichen Widerſtande noch den von 10, 20, 30 Umwindungen zu überwinden, die Ablenkung der Nadel wird eine entſprechende Abnahme erfahren. Wenn man die einer jeden Stellung des Schlittens entſprechende Ablenkung notirt, ſo laſſen ſich mit dem

Rheoſtaten auf die bequemſte Weiſe die auf Seite 566 entwickelten Geſetze nachweiſen.

Um zu beweiſen, daß ſich die Leitungswiderſtände der Dråhte umgekehrt verhalten wie ihre Querſchnitte, ſtelle man zunächſt den Rheoſtaten auf Null. Die entſprechende Ablenkung ſey $51\frac{1}{2}^0$.

Nun ſchalte man an irgend einer Stelle, etwa bei *c*, einen Kupferdraht, etwa von 5 Meter Långe und 0,26 Linie Durchmeſſer ein, ſo wird die Nadel etwa auf 37 zurückgehen. (Um ſolche Dråhte bequem handhaben zu können, windet man ſie am beſten auf einen trocknen Holzcylinder, in welchem ein Schraubengewinde eingeſchnitten iſt.)

Nachdem man den Draht wieder entfernt und die Kette wieder geſchloſſen hat, ſtellt ſich die Nadel wieder auf die urſprüngliche Stelle (in unſerem Beiſpiel $51\frac{1}{2}^0$), und um zu machen, daß ſie wieder auf 37^0 zurückgeht, muß man durch Drehung des Rheoſtaten den Schlitten um eine beſtimmte Anzahl von Windungen, z. B. um 4,2 Windungen voranſchieben. Es iſt nun klar, daß der eingeſchaltete Kupferdraht denſelben Widerſtand hervorbringt, wie 4,2 Windungen des Drahtes auf dem Rheoſtaten.

Wiederholt man nun denſelben Verſuch mit einem Kupferdraht, der eben ſo lang iſt wie der eben betrachtete, aber von halb ſo großem Durchmeſſer, ſo wird man finden, daß dieſer dünnere Kupferdraht einen eben ſo großen Widerſtand ausübt, wie $16\frac{3}{4}$ Windungen des Drahtes auf das Rheoſtat; der Widerſtand des halb ſo dicken Kupferdrahtes iſt alſo 4mal größer.

Um den Leitungswiderſtand verſchiedener Metalle zu vergleichen, kann man den Verſuch in der Weiſe anordnen, wie es in folgendem Beiſpiel der Fall war.

Das Rheoſtat, auf 0 geſtellt, gab der Bouſſole einen Ausſchlag von $51\frac{1}{2}^0$. Es wurde nun der Reihe nach eingeſchaltet ein Kupfer-, ein Eiſen-, ein Meſſing- und ein Neuſilberdraht. Alle waren 5^m lang und hatten einen Durchmeſſer von 0,26''' (alle waren durch daſſelbe Loch gezogen). Die Nadel ging zurück beim

Kupferdraht auf	37^0
Meſſingdrath	19^0
Eiſendrath	$12\frac{3}{4}^0$
Neuſilberdrath	$6\frac{3}{4}^0$

Wurde nun die Kette wieder ohne Einſchaltung von Dråhten geſchloſſen, ſo mußte man durch Drehen des Rheoſtaten den Schlitten um

4,2	Windungen	voranſchieben,	um	die	Nadel	auf	37^0	zu	bringen.
16,6	»	»	»	»	»	»	19^0	»	»
29,5	»	»	»	»	»	»	$12\frac{3}{4}^0$	»	»
65	»	»	»	»	»	»	$6\frac{3}{4}^0$	»	»

Es iſt alſo der Widerſtand des

Kupferdrahtes	gleich	dem	von 4,2	Windungen	des	Rheoſtats.
Meſſingdrahtes	»	»	» 16,6	»	»	»
Eiſendrahtes	»	»	» 29,5	»	»	»
Neuſilberdrahtes	»	»	» 65	»	»	»

Die Leitungsfähigkeit des Kupfers, Meſſings, Eiſens und Neuſilbers verhält ſich umgekehrt wie dieſe ihnen äquivalenten Längen des Drahtes auf dem Rheoſtat, ſetzt man alſo die Leitungsfähigkeit des Kupfers gleich 100, ſo iſt die des

Meſſings	25,3
Eiſens	14,2
Neuſilbers	6,4.

Nach Pouillet's Verſuchen, die jedoch nach einer andern Methode angeſtellt worden waren, verhält ſich die Leitungsfähigkeit verſchiedener Metalle, wie folgende Tabelle angiebt.

Silber	136
Gold	103
Kupfer	100
Zink	28 (Becquerel)
Platin	22
Eiſen.	17
Queckſilber	2,6.

D. h. ein Kupferdraht von 100 Fuß Länge leiſtet einem elektriſchen Strome einen ebenſo großen Widerſtand, wie gleich dicke Drähte von Silber, Zink, Platin, Eiſen u. ſ. w., welche resp. 136, 28, 22, 17 Fuß lang ſind.

Rieß hat nach der auf S. 57 angedeuteten Methode die Leitungsfähigkeit der Metalle folgendermaßen beſtimmt:

Silber	148
Kupfer	100
Meſſing.	28
Eiſen	17
Platin	15.

Leitungsfähigkeit der Flüſſigkeiten.

Das Ohmiſche Geſetz läßt ſich nicht ſo direct auf Flüſſigkeiten anwenden, welche in den Schließungsbogen eingeſchaltet werden, wie auf Metalle, denn man hat außer dem Widerſtande, welchen der Strom bei ſeinem Durchgange durch die Flüſſigkeit zu überwinden hat, noch einen andern Widerſtand beim Uebergange, den Strom von Metall in die Flüſ-

ſigkeit und umgekehrt, in Rechnung zu bringen. Bei Berückſichtigung dieſes Widerſtandes gilt das Ohmiſche Geſetz auch für flüſſige Leiter.

Die Exiſtenz eines ſolchen Widerſtandes läßt ſich am einfachſten durch folgenden von Fechner angegebenen Verſuch nachweiſen. In einen Trog a, Fig. 108, wurden eine Zinkplatte z und eine Kupferplatte k einander gegenüber geſtellt, der Trog mit Flüſſigkeit gefüllt und die Kette geſchloſſen, wie es in der Figur durch die Linie angedeutet iſt, und dann die Stromſtärke beſtimmt. Nun wurde ein zweiter gleicher Trog B mit zwei Kupferplatten daneben geſtellt, eben ſo hoch mit derſelben Flüſſigkeit gefüllt und die Kette geſchloſſen, wie in Fig. 109 angedeutet iſt. Dabei wurden aber die Platten k und z im Troge A genähert und die Platten kk in B in ſolche Entfernung gebracht, daß die Entfernungen von k und z im Troge A und die Entfernung der Platten kk in B, Fig. 109 zuſammen, ſo groß war wie die Entfernung der Platten im Troge A, Fig. 108. Unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden hatte alſo der Strom in beiden Fällen denſelben Weg durch die Flüſſigkeit zurückzulegen; die Stromſtärke für beide Fälle war aber nicht gleich, ſie war in dem letzten Falle faſt nur halb ſo groß wie im erſteren. Dieſe Schwächung der Stromſtärke kann nur einem Widerſtande beim Uebergange von Metall in der Flüſſigkeit zugeſchrieben werden; denn bei gleicher Länge des zu durchlaufenden flüſſigen Leiters, gegen deſſen Widerſtand der des metalliſchen Schließungsbogens ganz verſchwindet, hat im letzten Falle der Strom noch einmal mehr aus Metall in Flüſſigkeit, und dann wieder von der Flüſſigkeit in das Metall überzugehen.

Fig. 108.

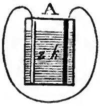
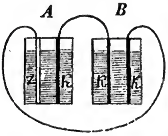


Fig. 109.



Auch folgender Verſuch von Lenz beweiſ't ſehr augenſcheinlich die Exiſtenz dieſes Widerſtandes. In einem viereckig ausgefüllten Holztrog, welcher mit verdünnter Salzſäure gefüllt war, waren zwei Kupferplatten in einer Entfernung von 1 Linie einander gegenüber geſtellt, und dann ein galvaniſcher Strom durchgeleitet worden. Der Meßapparat gab eine Ablenkung von 47°. Nun wurde der Verſuch mit zwei Platinplatten wiederholt, die eben ſo groß wie die Kupferplatten, in gleicher Entfernung in derſelben Flüſſigkeit eingetaucht waren. Nun erhielt man nur 9° Ablenkung. In einer Verſchiedenheit der Leitungsfähigkeit der feſten Theile konnte die Urſache dieſer Verſchiedenheit nicht liegen, der flüſſige Leiter war in beiden Fällen derſelbe, der Unterſchied konnte alſo nur daher rühren, daß der Widerſtand an der Berührungsſtelle größer iſt für Platin und Salzſäure, als für Kupfer und Salzſäure.

Will man den Leitungswiderſtand einer Flüſſigkeit an und für ſich ermitteln, ſo muß man die Verſuche ſo anordnen, daß der eben beſprochene Widerſtand eliminirt werden kann, was leicht möglich iſt. Es werde ein Strom durch die Flüſſigkeit hindurchgeleitet, während die beiden Platten 1 Linie von einander abſtehen, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{L},$$

wenn E die elektromotoriſche Kraft, welche der Strom bedingt, L aber die Summe aller Widerſtände bezeichnet. Bringt man nun die Platten in die doppelte Entfernung, ſo iſt jetzt die Stromſtärke

$$S' = \frac{E}{L + l},$$

wo l den Widerſtand einer Flüſſigkeitsſchicht von 1''' Dicke bezeichnet, die jetzt noch hinzugekommen iſt; alles übrige, alſo auch der Widerſtand an der Berührungsſtelle des Metalles und der Flüſſigkeit iſt unverändert geblieben. Durch Combination dieſer beiden Gleichungen läßt ſich l beſtimmen.

Nach Lenz iſt der Leitungswiderſtand einer Löſung von Kupfervitriol 6857500mal ſo groß, als der des Kupfers, d. h. der Leitungswiderſtand einer Schicht von Kupfervitriollöſung iſt eben ſo groß, wie der einer 6857500mal ſo langen Kupferſtange von gleichem Querſchnitt. Außer dieſem Widerſtande hat aber der Strom auch noch den Uebergangswiderſtand zu überwinden, wenn man ihn durch die Löſung des Kupfervitriols hindurchleiten will.

Nach Pouillet, welcher übrigens den ſogenannten Uebergangswiderſtand nicht berückſichtigt, iſt die Leitungsfähigkeit des Waſſers 0,0025, wenn man die der Kupfervitriollöſung mit 1 bezeichnet.

Für geſäuerte Flüſſigkeit iſt der Uebergangswiderſtand ungleich geringer, als für reines Waſſer, und daher mag es wohl vorzugsweiſe kommen, daß die Leitung des Stromes ſo ſehr erleichtert wird, wenn man dem Waſſer etwas Säure zugießt.

Galvaniſche Polariſation.

Der ſo eben beſprochene Uebergangswiderſtand rührt von der ſogenannten galvaniſchen Polariſation her; mit dieſem Namen bezeichnet man die dem urſprünglichen Strome entgegenwirkende Ladung der Platten, welche wir ſchon bei der Theorie der conſtanten Kette kennen gelernt haben, und welche daher rührt, daß ſich die Platten, zwiſchen denen der Strom durch die Flüſſigkeit übergeht, in Folge der Zerſetzung der Flüſ-

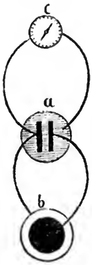
ſigkeit mit einer Schicht von Stoffen überziehen, welche in Berührung mit der Platte elektromotoriſch wirken.

Wenn man in den Schließungsbogen einer Kette einen Waſſerzerſetzungsapparat einſchaltet, deſſen Platten von Platin ſeyn mögen, ſo werden ſie ebenfalls eine ſolche Polariſation erfahren, d. h. durch Ablagerung ſolcher Schichten werden ſie ſelbſt zu elektromotoriſchen Elementen, welche dem urſprünglichen Strome entgegenwirken, und einen Strom zu erzeugen ſtreben, welcher dem urſprünglichen entgegengeſetzt iſt.

Daß die Tendenz zu einem ſolchen Gegenſtrom vorhanden iſt, läßt ſich am beſten dadurch zeigen, daß man dieſen Strom wirklich zur Entſtehung bringt. Es iſt dies auf folgende Weiſe möglich:

Man bringe die beiden Platten eines Waſſerzerſetzungsapparates mit den beiden Polen einer galvaniſchen Kette in Berührung, wie dies durch Fig. 110 angedeutet iſt, wo *a* den Waſſerzerſetzungsapparat, *b* die galvaniſche Kette darſtellen ſoll. (Es iſt zu dieſem Verſuche nur ein Element nöthig.) Hat die Schließung nur ganz kurze Zeit gedauert, ſo ſind die Platten in *a* geladen; öffnet man die Kette, bringt man alsdann die eine Platte von *a* mit dem einen, die andere mit dem andern Drahtende eines Multiplicators *c* in Berührung, ſo wird die Multiplicatornadel abgelenkt und zeigt einen Strom an, welcher dem durch die Kette *b* im Waſſerzerſetzungsapparat *a* hervorgebrachten entgegengeſetzt iſt.

Fig. 110.



Dieſe Erſcheinung erklärt uns auch die Wirkung der von Ritter entdeckten Ladungsſäule.

Wenn man eine Säule von Kupferſcheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut und die beiden Enden derſelben mit den Polen einer galvaniſchen Kette von hinlänglichen Spannungen verbindet, ſo wird die Säule ganz in derſelben Weiſe geladen, wie in dem eben betrachteten Falle die Platten des Waſſerzerſetzungsapparates. Wir haben eigentlich hier ja nur eine ganze Reihe ſolcher Zerſetzungszellen, deren Platten ſämmtlich polariſirt geladen werden. Trennt man die ſecundäre Säule (auch ſo wird die Ladungsſäule genannt) von der galvaniſchen Kette, welche zu ihrer Ladung diente, ſo iſt ſie nun ſelbſt im Stande, die Erſcheinungen einer galvaniſchen Kette hervorzubringen; ſie zeigt an dem einen Theil poſitive, am anderen negative Elektricität, und ihr Strom, welcher den der ladenden Kette entgegengeſetzt iſt, kann ſelbſt chemiſche Wirkungen hervorbringen.

Poggendorff hat gezeigt, wie man eine ganz ſecundäre Säule mit einer einfachen Kette, etwa einem Grove'ſchen oder Bunſen'ſchen

Element, laden und durch die Entladung der Säule einen Strom hervorbringen kann, der ungleich ſtärkere Widerſtände überwinden kann, als das zur Ladung angewandte Element.

Fig. 111.

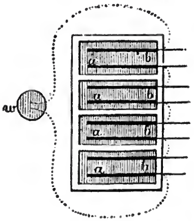


Fig. 111 ſtelle eine ſecundäre Säule dar, die aus 4 Paaren von Platinplatten beſteht; jedes Paar befindet ſich in einem beſonderen Troge. Werden nun alle Platinplatten, die in unſerer Figur mit *a* bezeichnet ſind, mit dem einen, alle mit *b* bezeichneten mit dem anderen Pole des ladenden Elements verbunden, ſo wird jedes Paar von Platinplatten geladen, und zwar iſt die Ladung für alle Paare dieſelbe. Wird nun die Verbindung mit dem primären Element aufgehoben, die Platinplatte nach dem Princip der Säule ſo verbunden, wie es durch die punktirten Linien angedeutet iſt, und dann die ſecundäre Säule durch einen Bogen geſchloſſen, in welchem ein Waſſerzerſetzungsapparat *w* eingeſchaltet iſt, ſo entſteht ein Strom, welcher eine kräftige Waſſerzerſetzung erzeugt, während das ladende Element eine ſolche Zerſetzung nicht hervorbringt. Das primäre Element hat nicht Spannung genug, um Waſſer zu zerſetzen, welche man erhält, wenn man die geladenen Platinplatten nach dem Princip der Säule combinirt.

Der Entladungsſtrom der ſecundären Säule iſt natürlich nur ein vorübergehender. Um eine merkliche Quantität Waſſer zu zerſetzen, muß man raſch nach jeder Entladung die Platinplatten wieder in entſprechender Weiſe mit den Polen der primären Kette verbinden und alsbald wieder eine neue Entladung bewerkſtelligen können. Poggendorff hat einen ſehr ſinnreichen Apparat erfunden, den er die Wippe nennt, mit Hülfe deſſen die Ladungen und Entladungen ſehr raſch ausgeführt werden können. Die Beſchreibung der Wippe würde uns zu weit führen.

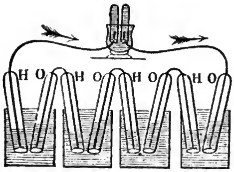
Eine ſolche Batterie von 4 Plattenpaaren, welche $2\frac{1}{2}$ Quadratzoll groß waren und mit einem Grove'ſchen Element geladen wurden, lieferten bei 80 Ladungen und Entladungen in der Minute 5 bis 6 Kubikzoll Knallgas.

Die Platinplatten der Ladungsſäule waren mit Platinmoor überzogen.

Die von Grove conſtruirte Gasbatterie gehört auch in die Kategorie der Ladungsſäulen. In Fig. 112 iſt eine ſolche Gasbatterie abgebildet.

In jedem der mit verdünnter Schwefelſäure gefülltem Gefäße ſtehen zwei oben zugeſchmolzene Glasglöckchen, in welchen ſich mit Platinmoor überzogene Platinſtreifen befinden. Ein in dem Glöckchen oben einge-

Fig. 112.



ſchmolzener Platindraht verbindet je zwei Platinſtreifen in der Weiſe, wie man es in der Figur ſieht. Der obere Theil der mit *H* bezeichneten Glöckchen enthält Waſſerſtoffgas, die mit *O* bezeichneten dagegen enthalten Sauerſtoffgas. Eine Batterie von 50 Elementen mit ungefähr $1/_4$ Zoll breiten Platinſtreifen gab einen Schlag und ſehr bedeutende Waſſerzerſetzung.

Die Wirkſamkeit dieſer Batterie rührt von der Bekleidung ihrer Platten mit reſpective Sauerſtoff und Waſſerſtoff her. Der Unterſchied zwiſchen ihr und der gewöhnlichen Ladungsſäule beſteht bloß in der Art, wie den Platten das Gas zugeführt wird. Bei der Ladungsſäule werden die Gaſen an den Platten ſelbſt entwickelt, bei der Gasbatterie hingegen werden ſie zuvor außerhalb der Batterie erzeugt, und dann erſt mit den Platten in Berührung geſetzt.

Zweiter Band.

Akuſtik.

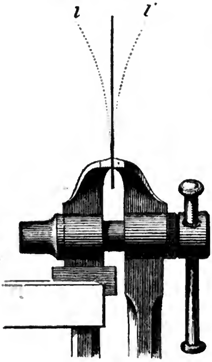
Die Lehre vom Schall hat ſchon in der zweiten Auflage eine gänzliche Umwandlung erfahren, indem die Grundzüge der Wellenbewegung, ohne welche ein klares Verſtändniß der Schallphänomene nicht möglich iſt, und welche in der erſten Auflage ſo gut wie ganz fehlen, mit großer Sorgfalt bearbeit wurden. Die Geſetze der Wellenbewegung im Allgemeinen und der Schallwelle insbeſondere ſind alſo hier noch nachzutragen.

Wenn ein Pendel aus ſeiner Gleichgewichtslage herausgebracht wird und dann ſich ſelbſt überlaſſen bleibt, ſo wird es zunächſt durch die Schwere ſeiner Gleichgewichtslage wieder zugeführt, in derſelben angelangt, kann es aber nicht in Ruhe bleiben, weil es mit einer Geſchwindigkeit ankommt, die es über die Gleichgewichtslage hinaustreibt, und ſo macht denn das Pendel eine Reihe von Schwingungen, deren Geſetze wir ſchon oben betrachtet haben.

Bei der Bewegung des Pendels bleibt die gegenſeitige Lage der Theilchen deſſelben unverändert. Wenn aber die gegenſeitige Lage der einzelnen Theilchen eines Körpers durch irgend eine äußere Urſache geſtört wird, ſo werden dieſelben, wenn irgend Kräfte vorhanden ſind, welche die urſprüngliche Gleichgewichtslage wieder herzuſtellen ſtreben, ebenfalls in eine oscillatoriſche Bewegung gerathen, welche ſich von der Pendelbewegung weſentlich dadurch unterſcheidet, daß ſich die gegenſeitige Lage der Partikelchen mit jedem Momente ändert; man hat alſo hier nicht allein die Oscillationsbewegung eines einzelnen Theilchens, ſondern auch die Veränderungen in der gegenſeitigen Lage der Theilchen zu betrachten.

Die Oscillationsbewegung der einzelnen Theilchen eines Körpers kann von der Art ſeyn, daß alle Theilchen gleichzeitig in Bewegung gerathen, gleichzeitig ihre Gleichgewichtslage paſſiren, gleichzeitig die Gränzen ihrer Oscillationsamplituden erreichen und dann gleichzeitig ihren Rückweg wieder beginnen. Von dieſer Art ſind die Vibrationen eines an einem Ende eingeklemmten Stahlſtreifens, Fig. 113, einer zwiſchen zwei feſten Punkten ausgeſpannten Saite, Fig. 114. Solche Schwingungen nennt man nach *Weber* »*ſtehende Schwingungen.*«

Fig. 113.



Wenn die Bewegungen der einzelnen Theilchen von der Art ſind, daß die Vibrationsbewegung von Theilchen zu Theilchen fortſchreitet, daß jedes folgende Theilchen dieſelben Oscillationen macht wie das vorhergehende, nur mit dem Unterſchiede, daß es ſeine Bewegung ſpäter beginnt, ſo ſind dies *fortſchreitende Schwingungen.* Durch die fortſchreitenden Schwingungen werden *Wellen* erzeugt. Die Bewegung, das Fortſchreiten der Welle iſt hier weſentlich von der Oscillation der einzelnen Theilchen zu unterſcheiden.

Fig. 114.

Beiſpiele von Wellenbewegung liefert uns eine ruhige Waſſerfläche, auf welche man einen Stein fallen läßt, ein langes geſpanntes Seil, gegen welches man nahe am einen Ende einen kräftigen Schlag führt, die Schallwellen in der Luft u. ſ. w. Wir werden dieſe verſchiedenen Wellenbewegungen alsbald näher betrachten.

Die Vibrationsbewegungen können nun je nach der Urſache der Störung des Gleichgewichtes, je nach der Natur der Kraft, welche die Theilchen wieder in die Gleichgewichtslage zurückzuführen ſtrebt, bald größer, bald kleiner ſeyn, ſo daß dadurch die äußere Geſtalt der Körper merkliche oder unmerkliche Formveränderungen erleidet; die Vibrationen können langſamer oder ſchneller ſeyn; ſie ſind oft langſam genug, daß man die einzelnen Schwingungen mit dem Auge verfolgen und zählen, oft ſind ſie aber auch ſo ſchnell, daß man die einzelnen Oscillationen nicht mehr für ſich unterſcheiden kann.

Wenn die Vibrationsbewegung eines Körpers einen gewiſſen Grad von Geſchwindigkeit überſchreitet, ſo kann ihre Geſammtwirkung noch einen

gewiſſen Eindruck hervorbringen, indem ſie in den umgebenden Medien Wellenbewegungen erzeugt, durch welche ſie, bis zu beſonders eingerichteten Sinnes-Organen fortgeleitet wird und hier eine eigenthümliche Empfindung veranlaßt.

So veranlaſſen Vibrationen, deren Geſchwindigkeit innerhalb gewiſſer bald näher zu beſprechender Grenzen liegt, in der Luft oder anderen elaſtiſchen Medien Wellen, welche, in abwechſelnden Verdichtungen und Verdünnungen beſtehend, bis zum Ohre fortgepflanzt als Ton wahrgenommen werden.

Noch ungleich ſchnellere Vibrationen der Körpertheilchen bringen durch die Wellenbewegung eines eigenthümlichen elaſtiſchen Fluidums, welches wir Aether nennen, bis in unſer Auge fortgepflanzt, hier den Eindruck des Lichtes hervor.

Da nun ſowohl Schall- als Lichtvibrationen durch Wellenbewegungen fortgepflanzt werden, ſo wollen wir zunächſt die wichtigſten Geſetze der Wellenbewegung überhaupt etwas näher betrachten und dieſe Betrachtung mit den Waſſerwellen beginnen, weil von ihnen doch der Begriff der Welle entnommen iſt und weil durch das Verſtändniß der Waſſerwellen das Verſtändniß anderer Wellenbewegungen, namentlich der Schallwellen, welche uns hier vorzugsweiſe intereſſiren, ſehr erleichtert wird.

Wenn man einen Stein ins Waſſer wirft, ſo bilden ſich kreisförmige Wellen, welche von einem Mittelpunkte (der Stelle, wo der Stein ins Waſſer fiel) aus nach allen Richtungen ſich mit gleichförmiger Geſchwindigkeit verbreiten, wenn nicht irgend eine ſtörende Urſache wirkt. Die Wellen beſtehen in abwechſelnden Bergen und Thälern, welche ſich ziemlich raſch einander folgen und welche in der Richtung von dem Mittelpunkte nach außen hin fortſchreiten.

Während nun ein Wellenberg nach außen hin fortſchreitet, nehmen nicht etwa auch die einzelnen Waſſertheilchen an dieſer fortſchreitenden Bewegung Antheil, denn wenn ein Stückchen Holz auf dem Waſſer ſchwimmt, ſo ſieht man, wie es abwechſelnd gehoben wird und ſich dann wieder ſenkt, wenn Wellenberge und Wellenthäler gleichſam unter ihm wegziehen.

Die Kraft, durch welche die Waſſerwellen hier fortgepflanzt werden, iſt die Schwere, denn wenn durch irgend eine Urſache in der horizontalen Waſſerfläche eine Erhöhung oder Vertiefung hervorgebracht wird, ſo wirkt alsbald die Schwere der einzelnen Waſſertheilchen, um die geſtörte horizontale Ebene wieder herzuſtellen, dadurch wird eine Oscillationsbewegung hervorgebracht, welche nach und nach von Theilchen zu Theilchen fortgepflanzt wird.

Sobald ſich einmal regelmäßige Wellen gebildet haben, beſchreiben die

einzelnen Waſſertheilchen an der Oberfläche während des Fortſchreitens der Welle in ſich zurückkehrende Kurven, welche im Falle der größten Regelmäßigkeit Kreiſe ſind, nur in ſolchen Fällen, in welchen der dem Gipfel vorangehende Theil des Wellenberges dem folgenden nicht gleich iſt, beſchreiben die einzelnen Waſſertheilchen Kurven, die nicht in ſich geſchloſſen ſind, von der Art, wie ſie in Fig. 115 und Fig. 116 dargeſtellt ſind.

Fig. 115.

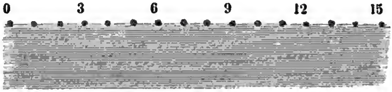
Fig. 116.

Die Bewegung der einzelnen Waſſertheilchen während des Fortſchreitens der Welle iſt von den Gebrüdern Weber durch eine Reihe genauer Verſuche ermittelt worden. Sie bedienten ſich hier zu dieſen Verſuchen einer größeren und kleineren Wellenrinne. Die kleinere war ungefähr 5½ Fuß lang und über 8 Zoll tief; die beiden Seitenwände wurden durch Glastafeln gebildet, welche 6,7 Linien weit von einander abſtanden; bei der größeren, welche einen 6 Fuß langen, 2,5′ tiefen und 1 Zoll 1,4 Linien breiten Raum einſchloß, waren die Seitenwände durch Bretter gebildet, in denen nur an einzelnen Stellen Glasſtreifen waſſerdicht eingeſetzt waren.

Betrachten wir nun den Zuſammenhang zwiſchen der Bewegung der einzelnen Waſſertheilchen und dem Fortſchreiten der Welle etwas genauer.

Nehmen wir an, eine ganz regelmäßige Wellenbewegung habe ſich, von der Linken zur Rechten fortſchreitend, bis zu dem Waſſertheilchen 0, Fig. 117, fortgepflanzt und veranlaſſe dieſes Theilchen, nun eine kreisförmige Bahn zurückzulegen.

Fig. 117.



Während nun das Theilchen 0 zum erſten Male ſeine Kreisbahn vollendet, wird die Bewegung eine beſtimmte Strecke ſich fortpflanzen. Das mit 12 bezeichnete Waſſertheilchen ſey nun dasjenige, bis zu welchem ſich die Oscillationsbewegung von 0 aus fortpflanzt, während 0 eine Umdrehung vollendet, ſo wird 12 ſeine erſte Umdrehung in demſelben Momente beginnen, in welchem 0 ſeine zweite Umdrehung beginnt.

Denken wir uns nun den Umfang des Kreiſes, welchen das Theilchen 0 beſchreibt, und ebenſo den Raum zwiſchen 0 und 12 in 12 gleiche Theile getheilt, ſo wird die Wellenbewegung in der Richtung von 0 nach

12 immmer um eine Abtheilung weiter ſchreiten, während das Theilchen 0 $^{1}/_{12}$ ſeiner kreisförmigen Bahn zurücklegt.

Während das Theilchen 0 das erſte Zwölftel ſeiner Bahn zurücklegt, pflanzt ſich die Wellenbewegung bis 1, während 0 das erſte Viertel ſeiner Bahn zurücklegt, pflanzt ſie ſich bis 3 fort.

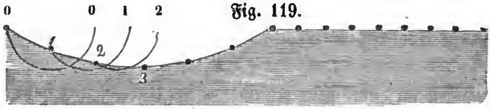
Fig. 118 ſtellt den Moment dar, in welchem das Theilchen 0 den

Fig. 118.

vierten Theil oder $^{3}/_{12}$ des Kreiſes zurückgelegt hat, den es durchlaufen ſoll; das Theilchen 1 hat in dieſem Augenblicke $^{2}/_{12}$, das Theilchen 2 hat $^{1}/_{12}$ ſeiner Kreisbahn zurückgelegt, das Theilchen 3 iſt noch nicht aus ſeiner Gleichgewichtslage verrückt.

Die Fig. 119 bezieht ſich auf den Augenblick, in welchem das Theilchen

Fig. 119.



0 die Hälfte ſeiner Bahn zurückgelegt hat; das Theilchen 1 hat $^{5}/_{12}$, das Theilchen 2 hat $^{4}/_{12}$, das Theilchen 3 hat $^{3}/_{12}$ ſeiner Bahn zurückgelegt, die Theilchen 4 und 5 befinden ſich in derſelben Lage wie die Theilchen 1 und 2 der vorigen Figur. Das Theilchen 6 iſt noch nicht aus ſeiner Gleichgewichtslage entfernt, beginnt aber eben ſeine Bewegung.

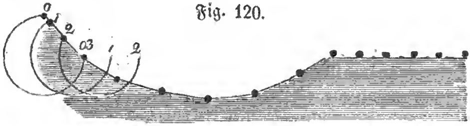
Hier hat das Theilchen 3 ſeine tiefſte Stellung erreicht, hier iſt die Mitte eines Wellenthales.

Wenn nun abermals $^{1}/_{12}$ der Zeit vergangen iſt, welche ein Theilchen braucht, um ſeinen Kreislauf ganz zu vollenden, ſo wird das Theilchen 3 in eine ſolche Lage gegen ſeine urſprüngliche Stellung gekommen ſeyn, wie es jetzt für das Theilchen 2 der Fall iſt, das Theilchen 4 hat ſeine tiefſte Stellung erreicht, es iſt um $^{1}/_{4}$ Kreis von ſeiner Gleichgewichtslage entfernt; das Wellenthal iſt alſo in dieſem Zeittheilchen von 3 bis 4 fortgerückt.

Fig. 120 ſtellt den Moment dar, wo das Theilchen 0 $^{3}/_{4}$ ſeines Weges zurückgelegt, wo es den höchſten Punkt ſeiner Bahn erreicht hat, hier iſt alſo der Gipfel eines Wellenbergs. Das Theilchen 1 hat bereits $^{8}/_{12}$,

2 hat $^7/_{12}$, 3 hat $^6/_{12}$ ſeiner Bahn zurückgelegt; die Theilchen 4, 5, 6, 7, 8

Fig. 120.



befinden ſich in derſelben Lage, wie 1, 2, 3, 4 und 5 der vorigen Figur. Von dem Momente an, auf welchen ſich Fig. 119 bezieht, bis zu dem Momente, welchen Fig. 120 darſtellt, iſt das Wellenthal von 3 bis 6 fortgerückt.

Während das Theilchen 0 das letzte Viertel ſeiner Bahn zurücklegt, ſchreitet der Wellenberg von 0 bis 3, das Wellenthal von 6 bis 9 fort, und in demſelben Moment, wo 0 ſeine Bahn zum erſten Male zurückgelegt hat und ſie zum zweiten Male zurückzulegen beginnt, wird das Theilchen 12 zum erſten Male ſeine Bahn beginnen.

Dieſer Moment iſt in Fig. 121 dargeſtellt, welche wohl keiner Erläuterung mehr bedarf.

Fig. 121.

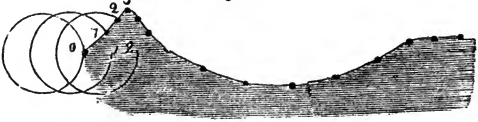
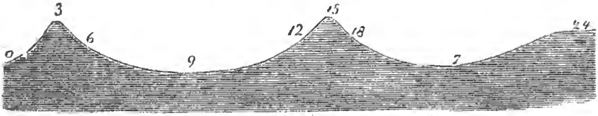


Fig. 122.



Die Fig. 122 ſtellt den Augenblick dar, in welchem 0 zum zweiten Male ſeine Bahn zurückgelegt hat; in dieſem Moment wird 12 ſeinen Weg zum erſten Male gemacht und die Bewegung überhaupt ſich bis 24 fortgepflanzt haben; ein Wellenberg iſt in 3, ein zweiter in 15, ein Wellenthal in 9, ein zweites in 21.

Wenn nun die Wellenbewegung ungeſtört fortdauert, ſo werden dadurch, daß die einzelnen Waſſertheilchen fortfahren, ihre Kreisbahnen zu durchlaufen, die Wellenberge ſowohl als die Wellenthäler gleichmäßig in der Richtung von der Linken zur Rechten fortſchreiten, indem ein Theilchen nach dem andern den höchſten oder tiefſten Punkt ſeiner Bahn erreicht.

So ſchreitet denn Wellenberg und Wellenthal dadurch voran, daß allen Waſſertheilchen dieſelbe Kreisbewegung mitgetheilt wird, daß aber jedes folgende Theilchen dieſelbe ſpäter beginnt als das vorangehende.

Die Entfernung von einem Theilchen bis zum nächſten, welches ſich in gleichen Schwingungszuſtänden befindet, heißt eine Wellenlänge, alſo die Entfernung von 0 bis 12, von 12 bis 24, denn dieſe Theilchen beginnen gleichzeitig ihre Oscillation, ſie erreichen gleichzeitig ihren tiefſten und ihren höchſten Stand. Demnach iſt auch die Entfernung von dem Gipfel eines Wellenberges bis zum nächſten, alſo in unſerer Figur von 3 bis 15, von der Mitte eines Wellenthales bis zur Mitte des nächſten Wellenthales, alſo hier von 9 bis 21, eine Wellenlänge.

Solche Theilchen, welche um ½ Wellenlänge von einander entfernt ſind, wie 0 und 6, 3 und 9, 9 und 15, befinden ſich ſtets in entgegengeſetzten Schwingungszuſtänden. Das Theilchen 9 z. B. bildet eben den tiefſten Punkt eines Wellenthales, 3 und 15 dagegen den Gipfel eines Wellenberges. Die Theilchen 0 und 6 befinden ſich zwar beide in der Höhe ihrer Gleichgewichtslage, allein die Bewegung von 0 iſt nach unten, die von 6 iſt nach oben gerichtet.

Die Zeit, welche ein Theilchen braucht, um eine Oscillation zu vollenden, heißt die Dauer einer Oscillation.

Während ein Theilchen eine Oscillation vollendet, ſchreitet die Welle um eine Wellenlänge voran.

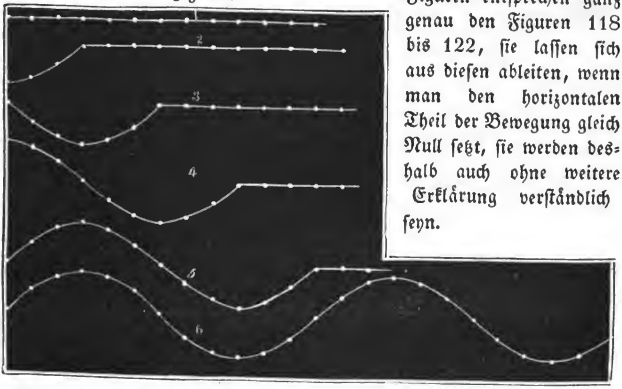
Die nähere Betrachtung des Verhältniſſes zwiſchen der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Wellen, der Größe und Dauer der Oscillationen und der Geſtalt der Wellen, der Oscillationsbewegung der Theilchen im Innern der Flüſſigkeit, der Abnahme der Höhe der Wellenberge und Thäler mit der Entfernung von dem Urſprunge der Welle, die Bildung der Wellen auf großen Gewäſſern unter dem Einfluſſe des Windes würde uns hier zu weit führen; wir müſſen in dieſer Beziehung auf das claſſiſche Werk der Gebrüder Weber: »Wellenlehre, auf Experimente gegründet, Leipzig 1825«, verweiſen. Ebenſo laſſen wir hier die Erſcheinungen der Reflexion und Interferenz der Waſſerwellen unberückſichtigt, da wir die entſprechenden Erſcheinungen bei den Schall- und Lichtwellen doch näher unterſuchen müſſen.

Es iſt ſchon bemerkt worden, daß die Bahnen der Waſſertheilchen nicht immer, wie wir in unſeren Zeichnungen annahmen, genau kreisförmig, ja nicht einmal immer in ſich ſelbſt zurückkehrende Kurven ſind. Häufig geht die kreisförmige Bahn in eine elliptiſche über, indem bald der horizontale, bald der vertikale Durchmeſſer der größere iſt. Wäre der horizontale Durchmeſſer gleich Null, ſo würden die einzelnen Theilchen nur rechtwinklig auf der Richtung, nach welcher ſich die Wellen fortpflanzen, auf und

nieder oscilliren. Eine Bewegung der Art iſt es, welche die Wellen am geſpannten Seile fortpflanzt. Später werden wir auch eine ſolche Wellenbewegung bei der Lehre vom Lichte näher kennen lernen.

Die Figuren 1 bis 6 (Fig. 123) ſollen dazu dienen, die Fortpflanzung ſolcher Wellen, alſo etwa der Seilwellen, anſchaulich zu machen. Dieſe Figuren entſprechen ganz genau den Figuren 118 bis 122, ſie laſſen ſich aus dieſen ableiten, wenn man den horizontalen Theil der Bewegung gleich Null ſetzt, ſie werden deshalb auch ohne weitere Erklärung verſtändlich ſeyn.

Fig. 123.



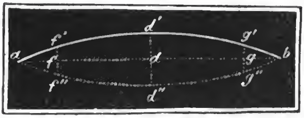
Wenn eine Seilwelle, gegen den einen Befeſtigungspunkt fortſchreitend, an demſelben angekommen iſt, ſo wird ſie reflectirt, ſie kehrt wieder nach dem andern Ende zurück und läuft ſo mehrmals hin und her. Wenn aber nun fortwährend neue Wellen erzeugt werden, ſo wird es kommen, daß die reflectirten Wellen den neu ankommenden begegnen, durch das Zuſammenwirken der beiden Wellenſyſteme aber bilden ſich **ſtehende Wellen**.

Die **Bildung ſtehender Seilwellen** durch das Zuſammenwirken (Interferenz) des directen und des reflectirten Wellenſyſtems wollen wir hier nicht näher unterſuchen, weil wir ſpäter doch die auf ganz ähnlichen Principien beruhende Bildung ſtehender Luftwellen durch die Interferenz eines directen und eines reflectirten Wellenſyſtems einer genaueren Betrachtung unterwerfen müſſen, wir wollen hier nur noch die Art der Bewegung eines Seiles oder einer Saite während ſolcher ſtehenden Schwingungen näher betrachten.

Der einfachſte Fall iſt der, daß das Seil ſeiner ganzen Länge nach ſchwingt, wie es in Fig. 124 (auf folgender Seite) dargeſtellt iſt. Man kann dieſe Bewegung dadurch hervorbringen, daß man die Mitte eines nicht gar feſt geſpannten Seiles von 10 bis 20 Fuß Länge etwas aus ihrer Gleichgewichtslage (am beſten etwas nach der Rechten oder Linken)

entfernt und dann das Seil ſich ſelbſt überläßt. Alle Theilchen befinden ſich gleichzeitig auf der einen und dann wieder auf der andern Seite der Gleichgewichtslage; ſie erreichen gleichzeitig das Maximum ihrer Entfernung von der Gleichgewichtslage auf der rechten Seite und kommen gleichzeitig auf den Endpunkten ihrer Bahnen auf der andern Seite an. Die Theilchen alſo, deren Gleichgewichtslage f, d und g iſt, kommen gleichzeitig in f', d' und g' an, ſie paſſiren gleichzeitig ihre Gleichgewichtslage, nach derſelben Richtung ſich bewegend, ſie kommen gleichzeitig in f'', d'', g'' an.

Fig. 124.



Während alſo alle Theilchen ſich gleichzeitig ſtets auch in gleichen Schwingungszuſtänden befinden, iſt nur die Amplitude ihrer Oscillationen ungleich, ſie iſt für das Theilchen d größer als für f und g.

Die Schwingungen einer geſpannten Saite, welche man aus ihrer Gleichgewichtslage bringt, oder die man in der Mitte ihrer Länge mit einem Fiedelbogen anſtreicht, ſind ganz von derſelben Art. Die Schwingungen der Saite ſind aber ſo ſchnell, daß man die einzelnen Oscillationen als ſolche nicht mehr unterſcheiden kann, dahingegen bringen ſie nun einen Ton hervor. In Beziehung auf dieſen Ton werden wir ſpäter die Schwingungen der Saite noch einmal zu betrachten haben.

Die Schwingungen eines nicht gar ſtark geſpannten Seiles ſind langſam genug, um ſie zählen zu können; es hält aber ſchwer, auf die angegebene Weiſe eine ganz regelmäßige Oscillationsbewegung hervorzubringen, wenn man die Mitte des Seiles in der Richtung von unten nach oben aus ihrer Gleichgewichtslage bringt, weil alsdann nicht allein die Elaſticität des Seiles die Theilchen in ihre Gleichgewichtslage zurückführt, ſondern auch die Schwere; wenn man aber die Mitte des Seiles nach der Rechten oder Linken aus der Gleichgewichtslage bringt, ſo iſt die Bewegung theilweiſe eine förmliche Pendelbewegung, weil, wenn das Seil nicht ſehr ſtark geſpannt iſt, die Mitte immer etwas herabhängt, ſpannt man es aber ſtärker, ſo werden die Schwingungen zu ſchnell, um ſie einzeln unterſcheiden zu können.

Am beſten laſſen ſich die ſtehenden Schwingungen an einem Seile zeigen, wenn man das eine Ende deſſelben befeſtigt, das andere aber in der Hand hält und mit demſelben mit gleichförmiger Geſchwindigkeit kleine Kreiſe beſchreibt. Wenn man die richtige Geſchwindigkeit für die Bewegung der Hand gefunden hat, was während des Verſuchs ganz leicht iſt, ſo wird das Seil in eine ſolche Bewegung gerathen, daß die Mitte deſſelben einen großen Kreis um ihre Gleichgewichtslage beſchreibt. Alle anderen

Punkte des Seiles drehen ſich dann gleichfalls in Kreiſen um ihre Gleichgewichtslage, nur ſind die Kreiſe um ſo kleiner, je näher die Punkte den Enden des Seiles liegen.

Wenn man nun die Bewegung der Hand beſchleunigt, ſo wird die Regelmäßigkeit der Bewegung des Seiles geſtört, es iſt aber leicht, die Geſchwindigkeit der Hand ſo zu beſchleunigen, daß ſich in der Mitte des Seiles ein Ruhepunkt bildet. Jede Hälfte des Seiles ſchwingt dann ganz in der Weiſe, wie in dem vorigen Falle, das ganze Seil; die Mitte einer jeden Hälfte beſchreibt größere Kreiſe als alle übrigen Punkte; hier bildet ſich alſo ein Bauch. In Figur 125 haben wir zwei Bäuche und einen Knoten; ſo nennt man nämlich den ruhenden Punkt k, welcher die beiden ſchwingenden Theile ſcheidet.

Fig. 125.

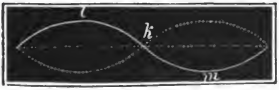


Fig. 126.

Wenn l ſeine höchſte Stellung erreicht, ſo erreicht m gleichzeitig ſeine tiefſte, und umgekehrt.

Bei noch größerer Geſchwindigkeit der Hand gelangt man leicht dahin, im Seile zwei Knoten und drei Bäuche zu erzeugen, wie dies Fig. 126 dargeſtellt iſt.

Ebenſo iſt es möglich, daß ſich das Seil in noch mehr Abtheilungen theilt, die immer durch einen Knotenpunkt getrennt ſind.

Auch an geſpannten Saiten laſſen ſich die Knotenpunkte beobachten. Fig. 127 ſtelle eine geſpannte Saite dar, an welcher durch einen Steg ein Stück abgeſchnittten wird, deſſen Länge $1/3$ von der Länge der ganzen Saite beträgt, ſo alſo, daß durch den Steg die Saite in zwei Theile getheilt wird, von denen der eine halb ſo groß iſt als der andere. Wenn man nun das kleinere Stück mit dem Fiedelbogen anſtreicht, ſo geräth auch das andere Stück in Vibrationen, und zwar ſo, daß ſich ein Knoten in n und zwei Bäuche in v und v' bilden. Der Knoten läßt ſich dadurch nachweiſen, daß man an verſchiedenen Stellen der Saite leichte Papierreiterchen aufſetzt, welche überall ſonſt abgeworfen werden, während ſie auf den Knotenpunkten ſitzen bleiben.

Fig. 127.

Wenn man den Steg ſo ſetzt, daß durch ihn die Saite in zwei Theile getheilt wird, von denen der kleinere $1/4$ von der ganzen Länge der Saite iſt, ſo bilden ſich, wenn man dieſen kleineren Theil mit dem Fiedelbogen anſtreicht, zwei Knoten und drei Bäuche u. ſ. w.

In Platten, Glocken u. ſ. w. laſſen ſich ebenfalls ſtehende Schwin-

gungen hervorbringen, denn die Vibrationen von Platten, bei denen die in Nro. 325 der erſten Auflage beſchriebenen Klangfiguren beobachtet worden, ſind nichts andres als ſtehende Wellen.

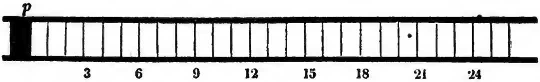
Schallwellen.

Um die Art und Weiſe, wie ſich die Schallſchwingungen in der Luft fortpflanzen, anſchaulich zu machen, wollen wir uns denken, daß die Luft in einer an einem Ende offenen Röhre durch die Oscillationen eines am andern Ende angebrachten Kolbens in Schwingungen verſetzt wird.

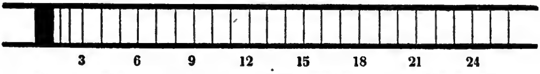
Fig. 129.

In Fig. 128 iſt eine ſolche Röhre dargeſtellt, die gleich weit von einander ſtehenden Striche ſtellen einzelne Schichten der überall gleich dichten Luft dar; p iſt der Kolben. Dieſer Kolben ſoll um die Länge ag, Fig. 129, raſch hin und her gehen.

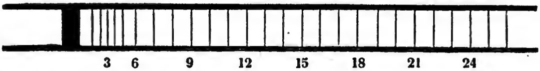
F. 128.



F. 130.



F. 131.



F. 132.

Eine ſolche oscillatoriſche Bewegung kann nicht gleichförmig ſeyn, wie dies ſchon früher bemerkt wurde. Denken wir uns die Zeit, welche der Kolben zu einem Hin- und Hergange, alſo von a nach g und von g zurück nach a, braucht, in 12 gleiche Theile getheilt, ſo legt er im erſten dieſer Zeittheilchen den Weg ab, im zweiten den Weg bc, im dritten den Weg cd u. ſ. w. zurück; die anfangs langſame Bewegung nimmt alſo an Geſchwindigkeit zu, ſie iſt am Ende des dritten Zeittheilchens am größten, ſie wird 0 am Ende des ſechsten, in welchem Augenblicke der Kolben am rechten Endpunkte ſeiner Bahn anlangt und von wo die rückgängige Bewegung des Kolbens beginnt.

Die Punkte b, c, d u. ſ. w. erhält man, wenn man einen Kreis zieht, deſſen Durchmeſſer ag der Oscillationsamplitude gleich iſt, wenn man den

Umfang dieſes Kreiſes in 12 gleiche Theile theilt und von den Theilungs-punkten Perpendikel auf ag fällt.

Dieſe Bewegung des Kolbens pflanzt ſich nun nach und nach auf alle die einzelnen Luftſchichten der Röhre fort, jede derſelben wird nach einiger Zeit dieſelben Oscillationen machen wie der Kolben ſelbſt, ſie wird aber dieſe Bewegung um ſo ſpäter beginnen, je weiter ſie von dem Kolben entfernt iſt.

Wenn die Luft vollkommen unelaſtiſch und ſtarr wäre, ſo würde durch die Bewegung des Kolbens die ganze Luftſäule in der Röhre fortgeſchoben werden, alle einzelnen Luftſchichten würden gleichzeitig dieſelbe Bewegung, und zwar die des Kolbens, haben; die Luft iſt aber elaſtiſch, die Bewegung pflanzt ſich nur nach und nach fort, und zwar dadurch, daß die dem Kolben zunächſt liegenden Schichten erſt comprimirt werden und dann vermöge ihrer Elaſticität erſt auf die folgenden wirken.

Betrachten wir den Zuſtand der Luftſäule in dem Moment, in welchem der Kolben nach dem Beginne der Bewegung die Hälfte ſeines Weges nach der rechten Seite hin zurückgelegt, in welchem er alſo um die Länge ad von ſeiner urſprünglichen Lage entfernt, alſo in der Stellung Fig. 130 angekommen iſt, ſo ſehen wir, daß ſich die Bewegung erſt bis zu einer mit 3 bezeichneten Luftſchicht fortgepflanzt hat, d. h. die Luftſchicht 3 befindet ſich noch an ihrer urſprünglichen Stelle, die Luft zwiſchen dem Kolben und der Luftſchicht 3 iſt zuſammengedrückt, und dadurch wird nun auch dieſe Luftſchicht 3 fortgedrückt, welche eben ihre Bewegung beginnt.

Die Luftſchichten 1 und 2 (die Zahlen ſind zwar in der Figur nicht beigeſchrieben, weil wohl kein Zweifel ſeyn kann, welche gemeint ſind) haben ihre Bewegung auch ſpäter begonnen als der Kolben, ſie ſind alſo auch noch nicht ſo weit von ihrer urſprünglichen Lage entfernt wie dieſer. Die Luftſchicht 1 begann ihre Bewegung um $^1/_{12}$, die Luftſchicht 2 um $^2/_{12}$ der Zeit, welche der Kolben zu einem Hin- und Hergange braucht, ſpäter als dieſer, deshalb iſt 1 um die Entfernung ac, 2 aber erſt um die Entfernung ab von ihrer urſprünglichen Lage verrückt.

Auf dieſe Weiſe ergiebt ſich die gegenſeitige Lage der Luftſchichten zwiſchen 3 und dem Kolben, wie ſie die Figur 130 zeigt.

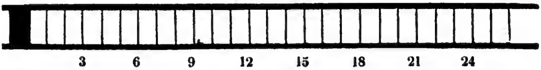
Fig. 131 zeigt den Kolben in dem Moment, in welchem er das rechte Ende ſeiner Bahn erreicht hat, alſo um die Länge ag von ſeiner urſprünglichen Lage entfernt iſt. Die Bewegung hat ſich unterdeſſen bis zur Luftſchicht 6 fortgepflanzt, welche eben ihre Bewegung beginnt.

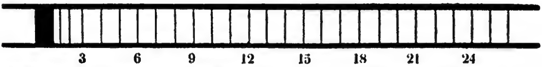
Der Kolben iſt eben zur Ruhe gekommen, um ſeine rückgängige Bewegung anzufangen, 3 aber hat in ſeiner Bewegung von der Linken zur Rechten eben ſeine größte Geſchwindigkeit.

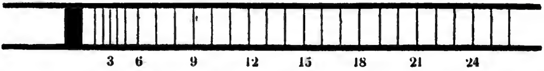
Die Luftſchicht 1 iſt um die Länge *af*
» » 2 » » » » *ae*
» » 3 » » » » *ad*
» » 4 » » » » *ac*
» » 5 » » » » *ab*
» » 6 » » » » 0

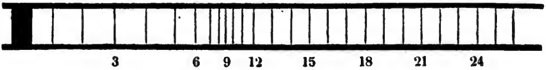
von ihrer urſprünglichen, in Fig. 128 dargeſtellten Lage entfernt, und daraus ergiebt ſich die gegenſeitige Lage der Schichten, wie ſie in Fig. 131 und 135 verzeichnet iſt. Bei 3 findet die ſtärkſte Verdichtung der Luft Statt.

Während nun der Kolben von der Stellung Fig. 135 zu ſeiner urſprünglichen Lage zurückkehrt, pflanzt ſich die Bewegung bis zur Luftſchicht 12 fort; dieſe Luftſchicht beginnt ihre Bewegung zum erſten Male in demſelben Augenblicke, in welchem der Kolben zum zweiten Male nach der Rechten zu gehen beginnt. Dieſe Lage der einzelnen Luftſchichten zwiſchen 12 und dem Kolben, wie ſie in Fig. 136 dargeſtellt iſt, ergiebt ſich aus folgender Betrachtung.

F. 133.


F. 134.


F. 135.


F. 136.


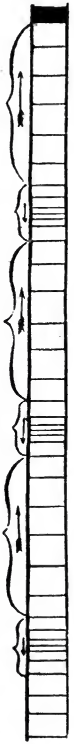
Während der Kolben und die Luftſchicht 12 ihre urſprüngliche Lage einnehmen und momentan in Ruhe ſind, ſind alle zwiſchenliegenden Luftſchichten von ihrer urſprünglichen Lage entfernt; alle Luftſchichten zwiſchen dem Kolben und 6 haben eine rückgängige Bewegung von der Rechten zur Linken, diejenigen zwiſchen 6 und 12 gehen von der Linken zur Rechten.

Die Luftſchicht 1 iſt um die Länge *ab*
» » 2 » » » » *ac*
» » 3 » » » » *ad*
» » 4 » » » » *ae*
» » 5 » » » » *af*
» » 6 » » » » *ag*
» » 7 » » » » *af*

Die	Luftſchicht	8	iſt	um	die	Länge	*a e*
»	»	9	»	»	»	»	*a d*
»	»	10	»	»	»	»	*a c*
»	»	11	»	»	»	»	*a b*
»	»	12	»	»	»	»	0

von ihrer urſprünglichen Lage entfernt; daraus ergiebt ſich, daß bei 9 die ſtärkſte Verdichtung, bei 3 aber die ſtärkſte Verdünnung der Luft ſtattfindet; die Luftſchicht 3 hat eben ihre größte Geſchwindigkeit nach der linken, die Luftſchicht 9 hat ihre größte Geſchwindigkeit nach der rechten Seite hin.

Fig. 137.



Wenn nun der Kolben in Ruhe bliebe, ſo würde zunächſt die Luftſchicht 1, dann 2, 3, 4 u. ſ. w. in ihrer urſprünglichen Lage wieder ankommen, um daſelbſt ebenfalls in Ruhe zu bleiben, während die Bewegung ſich nach der rechten Seite fortpflanzt; in dem Moment z. B., in welchem 3 in ſeiner urſprünglichen Lage wieder ankommt, wird ſich die Bewegung bis 15 fortgepflanzt haben, das Maximum der Verdichtung wird bei 12, das Maximum der Verdünnung wird bei 6 ankommen; in dem Augenblicke, in welchem 12 wieder in ſeiner urſprünglichen Lage ankommt, iſt das Maximum der Verdünnung bis 15, das Maximum der Verdichtung bis 21 fortgeſchritten, die Luftſchicht 24 beginnt aber eben ſich nach der Rechten zu bewegen u. ſ. w.

Vom Kolben bis 12 iſt eine, von 12 bis 24 eine zweite Welle, denn die Länge einer Welle iſt ja die Entfernung zweier Theilchen, welche ſich ſtets in gleichen Schwingungszuſtänden befinden; der Kolben und die Luftſchichten 12 und 24 beginnen gleichzeitig ihre Bewegung nach der Rechten; ſie durchlaufen ihren Weg nach der rechten Seite hin und wieder zurück ſtets in gleichen Zeiten und in gleicher Weiſe.

Jede Welle beſteht aus einem verdünnten und einem verdichteten Theile; erſterer entſpricht dem Wellenthale, letzterer dem Wellenberge der Waſſerwellen.

Die Entfernung von einem Dichtigkeitsmaximum zum nächſten, alſo von 9 bis 21, ſowie auch von einem Maximum der Verdünnung, alſo von 3 bis 15, iſt ebenfalls eine Wellenlänge.

Fig. 137 bezieht ſich auf den Moment, wo der Kolben zum dritten Male ſeine Oscillation vollendet, wo er alſo drei vollſtändige ſich einander folgende fortſchreitende Wellen erzeugt hat. In dieſer Figur ſind immer diejenigen Luftſchichten, welche ſich nach derſelben Richtung bewegen, mit einer Klammer zuſammengefaßt. Die Mitte

einer Klammer entſpricht immer einem Maximum der Verdichtung oder der Verdünnung; die hier befindlichen Luftſchichten haben eben ihre größte Geſchwindigkeit entweder nach der Rechten oder nach der Linken. Die Luftſchichten, welche da ſich befinden, wo zwei Klammern zuſammentreffen, befinden ſich momentan in Ruhe, indem ſie ſich gerade am rechten oder am linken Ende der Bahn befinden, welche ſie während ihrer Oscillationen hin und her durchlaufen.

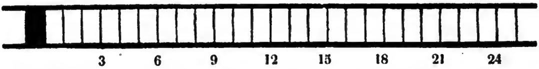
Um den Zuſammenhang zwiſchen der oscillirenden Bewegung der einzelnen Luftſchichten und der dadurch hervorgebrachten fortſchreitenden Bewegung der Wellen recht anſchaulich zu machen, kann man ſich der ſogenannten Wunderſcheibe (Phenakiſtoſkop) bedienen, welche ſpäter, wenn von der Dauer des Lichteindrucks die Rede ſeyn wird, beſchrieben werden ſoll.

Die Geſchwindigkeit, mit welcher ſich die Wellen in der Luft fortpflanzen, iſt unabhängig von der Oscillationsgeſchwindigkeit des Kolbens und der einzelnen Luftſchichten. Wenn z. B. der Kolben zu einer Oscillation, alſo zu einem Hin- und Hergange, eine doppelt ſo große Zeit brauchte, als in dem vorher betrachteten Falle, ſo würde doch die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Wellen unverändert dieſelbe bleiben.

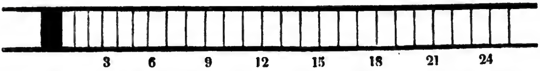
Wir wollen die Fortpflanzung der Wellen für die eben erwähnte geringe Oscillationsgeſchwindigkeit des Kolbens etwas näher betrachten.

In derſelben Zeit, während welcher in dem vorher betrachteten Falle der Kolben eine halbe Oscillation vollendet, alſo, von ſeiner urſprünglichen Lage ausgehend, ſeine Bahn von der Linken zur Rechten durchläuft und ſo aus der Stellung Fig. 133 in die Fig. 135 übergeht, wird der Kolben, im Falle er, um eine Oscillation zu vollenden, die doppelte Zeit braucht, nur die Hälfte dieſes Weges zurücklegen, alſo in der Stellung Fig. 139 ankommen. In gleichen Zeiten pflanzt ſich aber die Bewegung

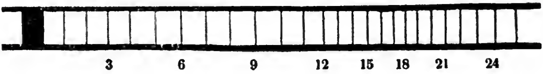
F. 138.



F. 139.



F. 140.



im gleichen Raume fort; in dem Moment, in welchem beim vorigen Fall der Kolben in der Stellung Fig. 135 angekommen war, hatte ſich die Bewegung bis 6 fortgepflanzt; ebenſo weit pflanzt ſie ſich nun jetzt in

derſelben Zeit fort, während welcher der Kolben nur einen halb ſo großen Weg zurückgelegt hat.

Um mit der halb ſo großen Oscillationsgeſchwindigkeit eine vollſtändige Oscillation zu vollenden, iſt ſo viel Zeit nöthig, als der Kolben bei doppelter Oscillationsgeſchwindigkeit braucht, um zwei Oscillationen zu vollenden. Nach zwei Oscillationen hatte ſich aber bei dem vorher betrachteten Falle die Bewegung bis zur Luftſchicht 24 fortgepflanzt, ebenſo weit pflanzt ſie ſich in derſelben Zeit fort, wenn während derſelben der Kolben eine Oscillation vollendet; im letztern Falle liegt aber zwiſchen dem Kolben und der Luftſchicht 24 nur eine Welle (Fig. 140), während im erſtern Falle (Fig. 141) zwei Wellenlängen zwiſchen denſelben Gränzen liegen.

Fig. 141.

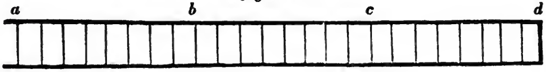
Da, wie die Erfahrung lehrt, die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Luftwellen unabhängig iſt von der Zeit, während welcher jedes einzelne Theilchen eine Oscillation vollendet, da aber die Wellenlänge die Entfernung iſt, um welche die Welle fortſchreitet, während eine einzelne Luftſchicht eine vollſtändige Oscillation vollendet, ſo iſt klar, daß die Wellenlänge in demſelben Verhältniſſe zunimmt, in welchem die Oscillationsdauer der einzelnen Lufttheilchen wächſt. Wenn der Kolben und mithin auch die folgenden Luftſchichten zu einer Oscillation, alſo zu einem Hin- und Hergange, die doppelte, dreifache, vierfache u. ſ. w. Zeit brauchen, ſo wird auch die Wellenlänge zwei-, drei-, vier- u. ſ. w. mal ſo groß geworden ſeyn.

Wir haben hier der Einfachheit wegen die Fortpflanzung der Luftwellen in einer Röhre betrachtet, ganz in derſelben Weiſe pflanzen ſich aber auch die Wellen in freier Luft von den oscillirenden Körpern nach allen Seiten hin fort, ſowie ſich um die Stelle des Waſſers, in welche der Stein hineingefallen iſt, kreisförmige Wellen bilden, ſo bilden ſich um den oscillirenden Körper kugelförmige Luftwellen.

Bildung ſtehender Luftwellen in gedeckten Pfeifen.

RS, Fig. 142, ſey eine an einem Ende *S* geſchloſſene, am anderen Ende offene Röhre; wenn nun eine Schallwelle bei *R* in die Röhre eintritt und

Fig. 142.

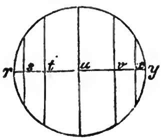


ſich nach S fortpflanzt, ſo wird ſie hier, am Boden der Röhre reflectirt, in umgekehrter Richtung zurückgehen; durch das Zuſammenwirken (die Interferenz) der reflectirten Wellen mit den neu einfallenden können ſich aber unter gewiſſen Umſtänden in der Röhre ſtehende Luftwellen bilden, wie wir wir dies ſogleich näher zeigen wollen.

Nehmen wir an, tie Länge der Röhre RS ſey $^1/_4$ der Länge der einfallenden Welle, die Luftſchichten bei a, b, c und d ſeyen alſo um $^1/_{12}$ Wellenlänge von einander entfernt.

Betrachten wir nun den Moment, in welchem der verdichtete Theil der einfallenden Welle gerade bei d anlangt, ſo würde ſich gerade in dieſem Augenblicke die dicht bei d ſich befindende Luftſchicht um die Entfernung ru, Fig. 143, nach der Rechten hin von d entfernt haben, wenn die feſte Wand in d dies nicht verhinderte, vorausgeſetzt, daß ry die Oscillationsamplitude, d. h. die Größe des Weges iſt, um welchen die einzelnen Lufttheilchen während des Fortganges der einfallenden Welle hin- und herſchwingen.

Fig. 143.



Die Luftſchicht c würde unter dem alleinigen Einfluſſe der ungehindert fortgehenden Welle in dieſem Augenblicke um die Länge rv, die Luftſchicht b um die Länge rx, die Luftſchicht a endlich um ry nach der rechten Seite hin von ihrer Gleichgewichtslage entfernt ſeyn.

Wenn aber das Maximum der Dichtigkeit der einfallenden Schallwelle eben bei d angekommen iſt, ſo iſt der vorangehende Theil dieſer Welle ſchon bei d reflectirt worden, die reflectirte Welle iſt von d nach a hin fortgeſchritten.

Denken wir uns für einen Augenblick die Wand bei d weg, ſo würde die Welle in dem Moment, in welchem das Maximum der Dichtigkeit bei d eintrifft, ſchon um $^1/_4$ Wellenlänge weiter vorgeſchritten ſeyn. Eine Luftſchicht, die um $^1/_{12}$ Wellenlänge rechts von d liegt, würde gerade um rt, eine ſolche, die $^2/_{12}$ Wellenlänge rechts von d liegt, würde eben um rs von ihrer Gleichgewichtslage nach der rechten Seite hin entfernt ſeyn; die Luftſchicht endlich, welche $^1/_4$ Wellenlänge rechts von d liegt, würde, noch nicht aus ihrer Gleichgewichtslage verrückt, eben erſt ſich zu bewegen beginnen.

Nun aber iſt die Röhre bei d verſchloſſen, die Welle iſt reflectirt worden, und durch die reflectirte Welle werden nun die Theilchen gerade ſo in entgegengeſetzter Richtung afficirt, wie es bei den gleichweit rechts von d gelegenen Luftſchichten der Fall geweſen wäre, wenn ſich die Welle ungehindert von d nach der rechten Seite hin hätte verbreiten können.

Die Luftſchicht c iſt alſo durch den Einfluß der reflectirten Welle um

rt, die Luftſchicht b um die Länge rs nach der Linken verrückt, die Luftſchicht a endlich iſt durch die reflectirte Welle in dieſem Augenblicke noch gar nicht afficirt.

Durch die einfallende Welle iſt also die Luftſchicht	durch die reflectirte Welle iſt die Luftſchicht
c um rv	c um rt
b » rx	b » rs
a » ry	a » 0
nach der Rechten	nach der Linken

von ihrer in Fig. 142 dargeſtellten Gleichgewichtslage entfernt.

Durch den gemeinſchaftlichen Einfluß des einfallenden und reflectirten Wellenſyſtems iſt alſo

die Luftſchicht c um $rv—rt$
» » b » $rx—rs$
» » a » ry

nach der rechten Seite hin von ihrer Gleichgewichtslage entfernt. Auf dieſe Weiſe ergiebt ſich für den fraglichen Augenblick die gegenſeitige Lage der einzelnen Luftſchichten, wie ſie in Fig. 144 dargeſtellt iſt, während Fig. 142 die Luftſchichten in ihrer Gleichgewichtslage darſtellt.

Um ein deutlicheres Bild zu geben, ſind die Zwiſchenräume zwiſchen a und b, b und c, c und d noch in 8 Theile getheilt. Man überſieht nun in Fig. 144 ganz gut, wie in dem Moment, welchen wir bisher betrachtet

Fig. 144.

haben, die Luftſchichten nach d hin immer dichter auf einander rücken. Die in Fig. 144 zunächſt bei a liegenden Abtheilungen ſind faſt ganz ebenſo groß wie die Abtheilungen in Fig. 142, mehr nach d hin werden ſie aber immer ſchmäler, die Luft bei a hat alſo noch die Dichtigkeit der umgebenden Luft, hier hat weder eine Verdichtung, noch eine Verdünnung ſtattgefunden, nach d hin iſt aber die Luft mehr und mehr comprimirt.

Wir haben eben die gegenſeitige Lage der einzelnen Luftſchichten betrachtet, jetzt wollen wir verſuchen, ihren Bewegungszuſtand für denſelben Moment zu ermitteln.

Wenn ry der Weg iſt, in welchem eine Luftſchicht in Folge einer fortſchreitenden Wellenbewegung hin und her oscillirt, ſo iſt bekanntlich die Geſchwindigkeit auf dieſem Wege nicht gleichförmig, ſie iſt wachſend von r bis u, abnehmend von u bis y, ſie iſt in r ſo groß wie in y, nämlich gleich Null, ſie iſt ferner gleich in s und x, in t und v.

Nun iſt die Luftſchicht *c* durch die einfallende Welle nach der Rechten hin um *rv*, durch die reflectirte Welle nach der Linken um *rt* verrückt, die Geſchwindigkeit, mit welcher das eine Wellenſyſtem das Theilchen *c* antreibt, iſt derjenigen gleich und entgegengeſetzt, mit welcher es durch das andere Wellenſyſtem afficirt wird, die Luftſchicht *c* iſt alſo momentan in Ruhe.

Daſſelbe Reſultat ergiebt ſich für *b* und für *a*, alle einzelnen Luftſchichten zwiſchen *a* und *d* ſind momentan in Ruhe, ſie beginnen gleichzeitig ihre Bewegung nach der linken Seite hin.

Wenn eben geſagt wurde, daß die Luftſchichten *a*, *b* und die dazwiſchenliegenden, in der Stellung Fig. 144 angekommen, gleichzeitig ihre Bewegung nach der Linken hin beginnen, ſo iſt dieſe Behauptung noch zu beweiſen.

Das Theilchen *c* iſt gerade eben durch das einfallende Wellenſyſtem mit einer Geſchwindigkeit nach der rechten Seite hin afficirt, welche der Entfernung *rv* von der Gleichgewichtslage entſpricht, und dieſe Geſchwindigkeit nimmt in dem nächſtfolgenden Augenblicke ab.

Durch das reflectirte Wellenſyſtem iſt die Luftſchicht *c* mit einer nach der Linken gerichteten Geſchwindigkeit afficirt, wie ſie einem Theilchen zukommt, welches ſich um *rt* von ſeiner Gleichgewichtslage entfernt hat; dieſe Geſchwindigkeit iſt im Zunehmen begriffen.

Die Luftſchicht *c* iſt alſo momentan mit gleicher Geſchwindigkeit nach der Rechten und Linken getrieben, die nach der Rechten gerichtete Geſchwindigkeit iſt aber im Abnehmen, die entgegengeſetzte iſt im Zunehmen begriffen, mithin beginnt die Luftſchicht *c* nach der Linken ſich zu bewegen.

Daſſelbe Reſultat erlangt man durch ähnliche Schlußweiſe für die Luftſchicht *b*.

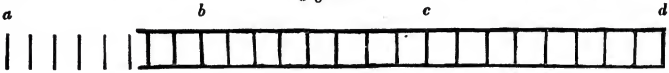
Die Luftſchicht *a* wird mit vereinter Kraft durch beide Wellenſyſteme nach der Linken getrieben. Alle Luftſchichten zwiſchen *a* und *d* beginnen alſo, wenn ſie ſich in der Lage Fig. 144 befinden, gleichzeitig ihre Bewegung nach der linken Seite hin; nach ¼ Undulation kommen ſie in ihrer Gleichgewichtslage, Fig. 142, an, die ſie mit dem Maximum ihrer Geſchwindigkeit paſſiren, nach ½ Undulation, alſo wenn das Maximum der Verdünnung bei *d* anprallt, gelangen die Theilchen endlich in die gegenſeitige Lage, Fig. 145; in dieſem Moment wird ihre Geſchwindigkeit Null, ſie beginnen ſich nach der Rechten zu bewegen.

Daß in dem Moment, in welchem die Mitte der Verdünnungswelle an dem verſchloſſenen Ende der Röhre anprallt, die Theilchen die gegenſeitige Lage Fig. 145 haben, iſt nun noch zu beweiſen.

Betrachten wir nun das einfallende Wellenſyſtem, ſo wird, wenn die Mitte der Verdünnungswelle in *d* ankommt, das in Fig. 142 ¼ Wellen=

länge vor d liegende Theilchen a gerade eine Undulation vollendet haben, es befindet ſich in ſeiner Gleichgewichtslage; ein $1/4$ Wellenlänge rechts

Fig. 145.



von d liegendes Theilchen würde, wenn ſich die Wellen ungehindert über d hinaus verbreiten könnten, in dieſem Augenblicke um die Länge ry nach der Rechten gerückt ſeyn; ebenſo weit iſt aber nun die Luftſchicht a durch die reflectirte Welle von der in Fig. 142 verzeichneten Gleichgewichtslage nach der Linken verſchoben, und ſo ergiebt ſich für das Theilchen a die in Fig. 145 verzeichnete Stellung.

Unterſucht man weiter, wie weit in dem zuletzt beſprochenen Moment die Schichten b und c durch jedes der beiden Wellenſyſteme verrückt ſind, ſo ergiebt ſich für dieſelben die in Fig. 145 verzeichnete Stellung.

Hier ſieht man nun, wie die einzelnen Luftſchichten zunächſt bei a nicht merklich weiter von einander entfernt ſind als in Fig. 142; bei a hat alſo keine Verdünnung ſtattgefunden, von a nach d hin werden die Zwiſchenräume immer größer, das Maximum der Verdünnung findet ſich bei b.

Von der Stellung Fig. 145 bewegen ſich alle Theilchen gleichzeitig nach der Rechten, ſie paſſiren gleichzeitig die Gleichgewichtslage, um gleichzeitig wieder, an der rechten Gränze ihrer Bahnen ankommend, die gegenſeitige Lage, Fig. 144, anzunehmen.

Bei d geht alſo die Luft abwechſelnd von dem Zuſtande der Verdünnung in den der Verdichtung über; d ſelbſt hat eine unveränderliche Stellung, alle anderen Luftſchichten oscilliren hin und her; für die zunächſt bei d liegenden Luftſchichten iſt die Amplitude der Oscillation nicht groß, ſie bewegen ſich nur wenig rechts und links. Die Größe der Excurſionen der einzelnen Theilchen wächſt aber mit der Entfernung von d. Betrachten wir die Lage des zunächſt bei d liegenden Striches in Fig. 144 und Fig. 145, ſo finden wir, daß er in letzterer Figur nicht viel mehr links liegt als in erſterer; die erſte Figur ſtellt ihn aber in einem Momente dar, wo er am rechten, die andere, wo er am linken Ende ſeiner Bahn angekommen iſt; die Größe dieſer Bahn iſt alſo unbedeutend.

Betrachten wir den Strich c in dieſer Figur, ſo ſehen wir, daß er in Fig. 145 ſchon bedeutend mehr links liegt als in Fig. 144. Das Theilchen c oscillirt alſo ſchon zwiſchen weiter aus einander liegenden Gränzen; für b iſt die Oscillationsamplitude größer als für c, noch größer iſt ſie für a.

So ſehen wir denn, daß die Luftſchicht *a* zwiſchen ziemlich weit aus-einander liegenden Gränzen hin und her oscillirt, dieſelbe Bewegung haben nun gleichzeitig alle Luftſchichten in der Röhre, nur werden ihre Oscillationsamplituden um ſo kleiner, je näher ſie dem verſchloſſenen Ende der Röhre liegen; durch dieſe oscillatoriſche Bewegung wird nun in der Nähe der Oeffnung der Röhre weder eine Verdichtung, noch eine Verdünnung hervorgebracht, obgleich hier die Oscillationsamplitude der einzelnen Luftſchichten groß iſt, dahingegen findet am verſchloſſenen Ende der Röhre, wo die Oscillationsamplituden der einzelnen Luftſchichten nur unbedeutend ſind, eine abwechſelnde Verdünnung und Verdichtung Statt.

Unſere Zeichnung iſt, um den Hergang ſichtbar zu machen, was die Oscillationsamplitude angeht, ungeheuer übertrieben, d. h. bei einer Pfeife von der Länge, wie ſie in unſerer Zeichnung dargeſtellt iſt, würde in dem beſprochenen Falle die Luftſchicht, welche in ihrer Gleichgewichtslage an der Oeffnung der Röhre liegt, lange nicht ſo weit in die Röhre ein- und austreten, ſie würde während ihrer Oscillationen nur wenig nach der linken und rechten Seite ſchwanken. Wäre aber die Oscillationsamplitude nicht ſo groß genommen worden, ſo würden in der Zeichnung ſchwerlich die Unterſchiede der Verdichtung und Verdünnung recht deutlich geworden ſeyn.

Es hat ſich alſo hier durch die Interferenz der direkten und reflectirten Wellen eine ſtehende Luftwelle gebildet, denn alle einzelnen Luftſchichten in der Röhre beginnen gleichzeitig ihre Bewegung, ſie erlangen gleichzeitig das Maximum ihrer Geſchwindigkeit, ſie langen gleichzeitig an den Gränzpunkten ihrer Bahnen an, um dann die Bewegung in entgegengeſetzter Richtung zu beginnen.

Die Fig 146, 147, 148 ſollen dazu dienen, die durch eine ſolche ſtehende Luftwelle abwechſelnd hervorgebrachten Verdünnungen und Ver-

Fig. 146.

Fig. 147.

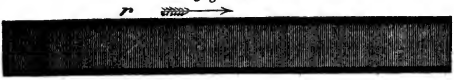
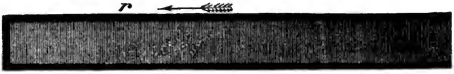


Fig. 148.



dichtungen anſchaulich zu machen. In Fig. 146 iſt die ganze Röhre gleichförmig ſchattirt, und dies entſpricht dem Falle, daß die Luft in der ganzen Röhre eine gleichförmige Dichtigkeit hat, wie dies in den Momenten der Fall iſt, wo alle die einzelnen Luftſchichten mit dem Maximum ihrer Geſchwindigkeit ihre Gleichgewichtslage paſſiren. Sind die Theilchen in ihrer Oscillation gegen das verſchloſſene Ende der Röhre hin an den äußerſten Punkten ihrer Bahn angekommen, ſo findet hier eine Verdichtung Statt, Fig. 147. Nun beginnen ſich die einzelnen Luftſchichten von dem verſchloſſenen Ende zu entfernen, und nach $\frac{1}{2}$ Undulation haben wir hier eine Verdünnung, Fig. 148. Am offenen Ende der Röhre findet in keinem Zeitmomente eine merkliche Verdichtung oder Verdünnung Statt; hier aber bewegen ſich die Luftſchichten zwiſchen den weiteſten Gränzen hin und her.

Die Pfeile in Fig. 147 und Fig. 148 deuten an, in welcher Richtung die Theilchen ſich zu bewegen beginnen, wenn am Boden eben das Maximum der Verdichtung oder der Verdünnung ſtattfindet.

Würde nun in die Röhre, etwa bei *r*, ein Loch gemacht, ſo würde dadurch die Bildung der ſtehenden Welle geſtört, wenn nicht ganz verhindert werden, weil im Momente der Verdichtung, Fig. 147 hier Luft entweichen, im Moment der Verdünnung aber Luft einſtrömen würde. Der ſtörende Einfluß einer ſolchen Oeffnung würde aber an ſolchen Stellen, welche dem offenen Ende näher liegen, geringer ſeyn, weil hier die Verdünnung ſowohl als die Verdichtung geringer iſt.

Denſelben ſtörenden Einfluß, den eine Oeffnung hervorbringt, würde auch ein Abſchneiden der Röhre an dieſen Stellen zur Folge haben.

Die Bildung einer ſtehenden Luftwelle in der Röhre iſt alſo an beſtimmte Verhältniſſe zwiſchen der Länge der Röhre und der Wellenlänge des einfallenden Tones gebunden, in dem bisher betrachteten Falle war die Länge der Röhre $\frac{1}{4}$ von der Wellenlänge des einfallenden Tones; es können ſich aber auch noch bei anderen Verhältniſſen zwiſchen Röhren- und Wellenlänge ſtehende Luftwellen in der Röhre bilden.

Zur Bildung der ſtehenden Welle in der Röhre iſt erforderlich, daß dicht bei dem Boden die Oscillationsamplituden verſchwindend klein werden, daß aber hier abwechſelnde Verdünnungen und Verdichtungen ſtattfinden, während am offenen Ende der Röhre keine merkliche Verdichtung und Verdünnung ſtattfindet; an der Oeffnung der Röhre muß alſo ſtets der verdichtete Theil der reflectirten Welle mit dem verdünnten Theile der einfallenden Welle zuſammenfallen, und umgekehrt.

Dieſer Bedingung wird dadurch allerdings entſprochen, daß die Oeffnung der Röhre um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge von dem Boden entfernt iſt, aber auch da-

durch, daß die Entfernung der Oeffnung von dem Boden $3/4$, $5/4$, $7/4$ u. ſ. w. Wellenlängen beträgt.

Fig. 149.

In Fig. 149 ſtelle die Linie *ab* die Länge der Röhre dar, welche $3/4$ Wellenlängen betragen ſoll; es ſey ferner $bc = cd = da = 1/3\,ba = 1/4$ Wellenlänge, ſo wird, wenn das Wellenſyſtem von *a* nach *b* hin fortſchreitet, in *c* der verdünnte Theil einer Welle ſeyn, wenn in *a* die größte Verdichtung ſtattfindet, weil *c* und *a* um $1/2$ Wellenlänge von einander entfernt ſind. Verbreitete ſich das Wellenſyſtem über *b* hinaus, ſo würde in demſelben Augenblicke in *c'* wieder eine Verdichtung, in *a'* Verdünnung ſtattfinden, alſo in *a* und *c'* gleiche, in *c* und *a'* die entgegengeſetzten Zuſtände; nun aber wird die Welle in *b* reflectirt, es fällt alſo gleichſam *c'* mit *c*, *a'* mit *a* zuſammen, es wird ſich alſo in *c* ſowohl als in *a* Verdünnung und Verdichtung aufheben, hier findet bloß ein Hin- und Hergehen der Luftſchichten ohne merkliche Veränderung in der Dichtigkeit Statt.

Unterſuchen wir aber, was bei *d* vorgeht.

Wenn das Maximum der Dichtigkeit von *a* nach *d* fortgeſchritten iſt, ſo würde es auch, wenn bei *b* keine Reflexion ſtattfände, von *c'* nach *d'* fortgeſchritten ſeyn, in *d* und *d'* ſind alſo immer gleiche Schwingungszuſtände; durch die Reflexion bei *b* fällt aber gleichſam *d'* auf *d*, es fällt alſo hier das Maximum der Dichtigkeit der einfallenden und reflectirten Welle und $1/2$ Undulation ſpäter das Maximum der Verdünnung beider zuſammen, hier wird alſo abwechſelnd eine verſtärkte Verdichtung und eine verſtärkte Verdünnung ſtattfinden.

Unterſuchen wir nun den Schwingungszuſtand einer in *d* befindlichen Luftſchicht, ſo finden wir, daß dieſelbe gar keine Bewegung hat, ſondern daß ſie ganz feſt ſteht, denn wenn die Wellen ſich über *b* hinaus verbreiteten, ſo würden *d* und *d'* ſich ſtets in ganz gleichen Oscillationszuſtänden befinden, ſie würden ſtets mit gleicher Geſchwindigkeit ſich nach derſelben Seite bewegen; wenn aber das Wellenſyſtem reflectirt wird, ſo wird die reflectirte Welle der Luftſchicht *d* gerade die entgegengeſetzte Bewegung von der mittheilen, welche ſie ohne Reflexion der Luftſchicht *d'* mitgetheilt hätte, *d* iſt alſo durch die beiden Wellenſyſteme ſtets mit gleichen, aber entgegengeſetzt gerichteten Geſchwindigkeiten afficirt; dieſe Luftſchicht muß alſo in Ruhe bleiben.

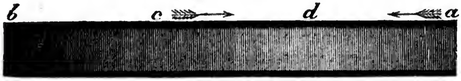
Die Figuren 150 bis 152 ollen die ſtehenden Luftwellen anſchaulich

machen, welche ſich in einer Röhre bilden, deren Länge $3/4$ von der Länge der einfallenden Schallwellen beträgt.

Fig. 150.

Fig. 151.

Fig. 152.



In Fig. 150 ſehen wir ein Maximum der Verdichtung in *d*, ein Maximum der Verdünnung am Boden der Röhre bei *b*; alle links von *d* liegenden Luftſchichten beginnen gleichzeitig ihre Bewegung nach der durch den Pfeil angedeuteten Richtung, während die rechts von *d* gelegenen Luftſchichten nach der Rechten hin ſich zu bewegen beginnen.

Nach $1/4$ Undulation haben die einzelnen Schichten eine ſolche Stellung erreicht, daß in der ganzen Röhre die Luft eine gleichförmige Dichtigkeit hat, was durch Fig. 151 dargeſtellt ſeyn ſoll, in der angegebenen Richtung ſich fortbewegend wird jedoch abermals nach $1/4$ Undulation der in Fig. 152 dargeſtellte Zuſtand eintreten; jetzt iſt bei *b* die größte Verdichtung, bei *d* die größte Verdünnung.

Von dieſem Momente an beginnen die einzelnen Luftſchichten wieder ſich gegen *d* hin zu bewegen, und ſo tritt dann nach $1/2$ Undulation wieder der Zuſtand Fig. 150 ein.

Die Luftſchichten, welche rechts und links von *d* liegen, bewegen ſich entweder gleichzeitig von *d* weg, oder gleichzeitig nach *d* hin, während *d* keine Bewegung hat, die Luftſchicht *d* bildet alſo einen *Schwingungsknoten*.

Die Stellen bei *c* und *a*, wo weder Verdünnung noch Verdichtung ſtattfindet, während hier die Luftſchichten gerade mit der größten Amplitude ſchwingen, heißen *Bäuche*.

Um nun wirklich die Luft in einer geſchloſſenen Röhre in ſolche ſtehende Schwingungen zu verſetzen, braucht man nur irgend einen oscillirenden Körper vor das offene Ende der Röhre zu bringen, welcher einen

ſolchen Ton giebt, daß die Länge der Röhre $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ u. ſ. w. von der Wellenlänge dieſes Tones iſt.

Man kann zu dieſem Zwecke eine gewöhnliche Stimmgabel anwenden, die man über ein unten verſchloſſenes Glasröhrchen von ungefähr 2 Zoll Länge hält, oder eine Glas- oder Metallplatte, die ganz in der Weiſe, wie zur Hervorbringung der Chladni'ſchen Figuren, eingeſpannt iſt und mit dem Fiedelbogen geſtrichen und unter welche eine unten verſchloſſene Röhre gehalten wird. Wenn die Röhre die richtige Länge hat, ſo wird die in ihr eingeſchloſſene Luftmaſſe, in den Zuſtand ſtehender Schwingungen verſetzt, ſelbſt tönend, wodurch dann der Ton ungemein verſtärkt wird, was namentlich dadurch deutlich wahrgenommen wird, daß man mit dem tönenden Körper über die Oeffnung der Röhre hin- und herfährt, ſo daß er bald ſich über der Oeffnung befindet, bald nicht, wobei dann der Ton abwechſelnd ſtärker und ſchwächer wird. — Sollte die Röhre für den tönenden Körper, welchen man anwendet, zu lang ſeyn, ſo kann man ſie durch Eingießen von Waſſer ſtimmen, d. h. man kann ſie dadurch ſo weit verkürzen, daß ſie für den tönenden Körper genau die richtige Länge hat.

Sehr ſchön läßt ſich dieſe Erſcheinung an dem Apparat Fig. 638 auf Seite 70 des 2. Bandes der 1. Auflage zeigen.

Um die Luft in einer Röhre in ſtehende Schwingungen zu verſetzen, um ſie alſo zum Selbſttönen zu bringen, iſt nicht gerade nöthig, einen tönenden Körper vor die Oeffnung zu bringen, wie dies ja die Orgelpfeifen zeigen. Hier iſt es ein am offenen Ende der Röhre vorbeiſtrömender, an ihren Rändern ſich brechender Luftſtrom, welcher durch ſeine Stöße Wellen erzeugt, die, an den Boden reflectirt, mit den neu einfallenden interferiren. Wenn auch dieſe Stöße anfangs nicht ganz regelmäßig ſind, ſo werden ſie doch alsbald, wenigſtens wenn die Röhre, wie man ſagt, gut anſpricht, durch den Einfluß der reflectirten Wellen regulirt, ſo daß ſich regelmäßige ſtehende Schwingungen bilden, durch welche die Luft in der Röhre ſelbſttönend wird.

Die Töne, welche eine Röhre auf dieſe Weiſe geben kann, ſind dieſelben wie diejenigen, welche ein anderer tönender Körper geben muß, wenn er, vor die Oeffnung der Röhre gebracht, die Luft in derſelben zum Selbſttönen bringen ſoll.

Bisher war nur von gedeckten Pfeifen die Rede, aber auch ſolche, welche an beiden Seiten offen ſind, laſſen ſich durch dieſelben Mittel zum Tönen bringen, welche dieſe Wirkung bei gedeckten Pfeifen hervorbringen.

In der Mitte einer Röhre kann eine ſtärkere Verdichtung der Luft ſtattfinden als am Ende derſelben, weil hier die Luft nicht nach der Seite hin ausweichen kann. Wenn nun der verdichtete Theil einer Welle am offenen Ende der Röhre ankommt, ſo werden beim Austritte aus der

Röhre die Lufttheilchen leicht nach allen Seiten hin ausweichen und dadurch eine Verdünnung entſtehen, welche nun, gleichſam von dem offenen Ende der Röhre reflectirt, dieſelbe in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, und ſo bilden ſich denn hier die ſtehenden Wellen.

Die rückkehrende Welle iſt natürlich nicht ſo intenſiv, wie die urſprüngliche.

Da an dem offenen Ende der Röhre nun ſtets eine Verdichtung mit einer Verdünnung zuſammenfällt, ſo muß hier nothwendig ein Bauch entſtehen, Schwingungsknoten können ſich nur im Innern der Röhre bilden.

Wenn dem Ton des Körpers, durch welchen man die Luft in der Röhre zum Selbſttönen bringen will, eine Wellenlänge l zukommt, ſo iſt die Länge der kürzeſten Röhre, welche durch dieſen Ton angeſprochen wird, $\frac{l}{2}$, d. h. die Röhre iſt halb ſo lang als die Wellenlänge ihres Tones. Wenn alſo die tiefſten Töne einer offenen und einer gedeckten Pfeife gleich ſeyn ſollen, ſo muß die offene Pfeife doppelt ſo lang ſeyn.

Für den tiefſten Ton einer offenen Röhre befindet ſich ein Schwingungsknoten in der Mitte ihrer Länge, ein Bauch aber an jedem Ende, wie dies Fig. 153 und Fig. 154 anſchaulich gemacht iſt. Fig. 153 ſtellt

Fig. 153.

Fig 154.

den Moment dar, wo in der Mitte der Röhre die größte Verdichtung ſtattfindet; während die Luftſchicht in der Mitte der Röhre in Ruhe bleibt, beginnt die Luft auf beiden Seiten ſich von der Mitte zu entfernen, wie dies durch die Pfeile angedeutet iſt; nach einer halben Undulation findet in der Mitte der Röhre das Maximum der Verdünnung Statt, und nun beginnen die einzelnen Luftſchichten von beiden Seiten her ſich gegen die Mitte hin zu bewegen.

Der nächſt höhere Ton der Röhre iſt derjenige, für welchen ſich ein Bauch in der Mitte der Röhre, Knoten aber in den Punkten a und b bilden, welche um $\frac{1}{4}$ der Röhrenlänge von den Enden abſtehen. Wenn in a ein Maximum der Verdichtung ſtattfindet, wie Fig. 155, ſo findet in b Verdünnung Statt, und umgekehrt, Fig. 156.

Für den eben beſprochenen Fall iſt die Wellenlänge des Tons der

Fig. 155.

Fig. 156.

Länge der Röhre gleich; die Oscillationsdauer dieſes Tons iſt halb ſo groß als die des Grundtons der Röhre.

Der auf dieſen folgende höhere Ton der Röhre, iſt derjenige, deſſen Wellenlänge $1\frac{1}{2}$mal in der Röhrenlänge enthalten iſt, für dieſen Ton bilden ſich drei Schwingungsknoten, von denen einer in der Mitte liegt, während jeder der anderen um $\frac{1}{6}$ der Röhrenlänge oder $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge der ſich bildenden Schallwelle von einem Ende abſteht.

Bezeichnen wir die Länge einer offenen Röhre mit l, ſo ſind die Wellenlängen der Töne, welche ſie geben kann,

$$2l,\ \frac{2}{2}l,\ \frac{2}{3}l \text{ u. ſ. w.,}$$

während

$$4l,\ \frac{4}{3}l,\ \frac{4}{5}l \text{ u. ſ. w.}$$

die Wellenlängen der Töne ſind, welche eine gedeckte Pfeife von der Länge l geben kann.

Nachdem wir nun ein Mittel kennen gelernt haben, reine Töne hervorzubringen, nämlich durch Orgelpfeifen, nachdem wir geſehen haben, wie die Höhe und Tiefe dieſer Töne von der Länge der Pfeifen abhängt, daß man alſo durch Verlängerung und Verkürzung der Röhren die Pfeifen beliebig ſtimmen kann, wollen wir nun die Tonreihe näher betrachten, welche in der Muſik zur Anwendung kommt.

Gehen wir von dem Tone aus, den eine 4 Fuß lange gedeckte Pfeife als Grundton giebt; es iſt dies ein Ton, welcher in der Muſik mit C bezeichnet wird.

Fragen wir nach denjenigen Tönen, die mit C zuſammen einen angenehmen Eindruck auf das Ohr hervorbringen, ſo finden wir, daß es ſolche ſind, deren Oscillationsgeſchwindigkeit in einem einfachen Verhältniſſe zu der von C ſteht; es ſind dies diejenigen Töne, deren Wellenlänge $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$ von der des Tones C beträgt, die alſo durch ſolche Pfeifen hervorgebracht werden, deren Länge $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$ von der der Pfeife C ſind.

Da ſich die Oscillationsdauer umgekehrt wie die Wellenlänge verhält, ſo macht alſo der erſte der erwähnten Töne 2 Schwingungen, während *C* eine macht; dieſer Ton heißt die Octave von *C* und er wird mit *c* bezeichnet.

Der Ton, deſſen Wellenlänge $^2/_3$ von der des Tones *C* beträgt, macht 3 Oscillationen, während *C* deren 2 macht; dieſer Ton iſt die Quinte von *C*, er wird mit *G* bezeichnet.

Der Ton, deſſen Wellenlänge $^3/_4$ von der des Tones *C* iſt, macht 4 Schwingungen, während *C* deren 3 macht, er wird die Quarte von *C* genannt und mit *F* bezeichnet.

Der Ton, deſſen Wellenlänge $^4/_5$ von der des Tones *C* iſt, macht 5 Schwingungen, während *C* deren 4 macht, es iſt die große Terz von *C* und wird mit *E* bezeichnet.

Der zuletzt erwähnte Ton, deſſen Wellenlänge $^5/_6$mal ſo groß iſt als die von *C*, macht 6 Schwingungen, während *C* deren 5 vollendet; es iſt dies die kleinere Terz von *C*, ſie wird mit *Es* bezeichnet.

Ebenſo wie *C* ſeine Octav, Quint, Quart, große und kleine Terz hat, ſo giebt es auch eine Octav, Quint, Quart, große und kleine Terz von *c*.

Der Grundton *C* mit ſeiner großen Terz *E* und ſeiner Quint *G* bilden den *C*dur-Accord.

Nach den eben angegebenen Verhältniſſen machen gleichzeitig

C	*E*	*F*	*G*	*c*
24	30	32	36	48

Schwingungen.

Um die Reihe der Töne gehörig zu vervollſtändigen, müſſen nun aber *E*, *F* und *G* ebenſo ihre Accorde, alſo ihre Terz und Quint haben wie *C*.

Die Quint von *G* iſt ein Ton, welcher 3 Schwingungen macht, während *G* deren 2 vollendet; auf 36 Schwingungen von *G* gehen alſo 54 Schwingungen ſeiner Quint, die wir mit *d* bezeichnen wollen; die nächſt tiefere Octav von *d* wird mit *D* bezeichnet, ſie macht 27 Schwingungen, während *G* 36 und *C* 24 macht.

Die große Terz von *G*, die man mit *H* bezeichnet, muß 5 Schwingungen machen, während *g* deren 4 vollendet, auf 36 Oscillationen von *g* gehen alſo 45 Oscillationen von *H*.

Da ſich 24 zu 36 (*C* zu *G*) verhält wie 32 zu 48 (*F* zu *c*), ſo iſt *c* die Quint von *F*.

Die große Terz von *F* muß 5 Schwingungen machen, während *F* ſelbſt deren 4 vollendet, auf 32 Oscillationen von *F* gehen alſo 40 Oscillationen ſeiner großen Terz, die mit *A* bezeichnet wird.

So haben wir denn eine Reihe von Tönen, welche den Namen der *C*dur-Tonleiter führt. Es machen gleichzeitig

C	*D*	*E*	*F*	*G*	*A*	*H*	*c*	*d*	*e*	u. ſ. w.
24	27	30	32	36	40	45	48	54	60	

Schwingungen.

Die Differenzen zwiſchen je zwei auf einander folgenden Tönen dieſer Reihe ſind nicht gleich. In der folgenden Reihe giebt der zwiſchen zwei Zahlen etwas tiefer geſetzte Bruch an, um den wievielſten Theil die Oscillationsgeſchwindigkeit eines Tones größer iſt als die des nächſt niedrigeren:

$$C \quad D \quad E \quad F \quad G \quad A \quad H \quad c;$$
$$\tfrac{1}{8} \quad \tfrac{1}{9} \quad \tfrac{1}{15} \quad \tfrac{1}{8} \quad \tfrac{1}{9} \quad \tfrac{1}{8} \quad \tfrac{1}{15}$$

in gleichen Zeiten macht alſo *D* $1\frac{1}{8}$mal ſo viel Schwingungen als *C*, *E* $1\frac{1}{9}$mal ſo viel als *D*, *F* $1\frac{1}{15}$mal ſo viel als *E* u. ſ. w.

Das Intervall von *C* zu *D*, von *D* zu *E*, von *F* zu *G*, von *G* zu *A*, von *A* zu *H* heißt ein ganzer Ton. Man unterſcheidet aber große ganze Töne, wenn das Intervall $\frac{1}{8}$, und kleine, wenn es $\frac{1}{9}$ beträgt.

Die Intervalle zwiſchen *E* und *F*, zwiſchen *H* und *c* ſind nahe halb ſo groß wie die übrigen, ſie werden deshalb halbe Töne genannt.

Wenn man, von irgend einem der anderen Töne ausgehend, in derſelben Ordnung von Intervallen fortſchreitet, ſo erhält man auf dieſe Weiſe die verſchiedenen Durtonleitern; um aber ein Fortſchreiten in derſelben Ordnung von Intervallen von jedem Tone aus möglich zu machen, müſſen noch zwiſchen *C* und *D*, *F* und *G*, *G* und *H* halbe Töne eingeſchaltet werden, die mit *cis*, *es*, *fis*, *gis* und *b* bezeichnet werden.

Bei den Durtonarten geht man vom Grundtone zur großen Terz und dann, um eine kleine Terz fortſchreitend, zur Quint über, bei den Molltonarten hingegen iſt der Accord durch den Grundton, die kleine Terz und die Quint gebildet.

Eine nähere Beſprechung der Tonarten und Tonleitern gehört mehr in die Theorie der Muſik als hierher.

Wenn der Grundton eine Schwingung in einer beſtimmten Zeit macht, ſo muß die große Terz in derſelben Zeit $\frac{5}{4}$, die große Terz dieſes Tones $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4}$ oder $\frac{25}{16}$, und die Terz dieſes Tones endlich $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4}$ oder $\frac{125}{64}$ Schwingungen machen. Der letztere Ton ſtimmt nun nicht genau mit der Octav des Grundtons überein, welcher $\frac{128}{64}$ entſprechen; wenn man alſo in reinen Terzen fortſchreitet, ſo kommt man nicht zur reinen Octav, und will man die Reinheit der Octaven erhalten, ſo muß man von der vollkommenen Reinheit der Terzen abſtrahiren. Aehnliches ergiebt ſich beim Fortſchreiten nach reinen Quinten. Man iſt deshalb, um die Reinheit der Octaven zu erhalten, genöthigt, in der Muſik die

Töne etwas höher oder tiefer zu ſtimmen, als es die reinen Terzen oder Quinten verlangen; man muß, wie es die Muſiker ſagen, den Ton etwas oberhalb oder unterhalb ſchweben laſſen. Dieſe Ausgleichung nennt man die *Temperatur*. Die nähere Beſprechung der verſchiedenen Arten der Temperatur würde uns hier zu weit führen.

Wenn unſer Ohr empfindlicher wäre, ſo würde es durch die erwähnte Unreinheit der Terzen und Quinten unangenehm afficirt werden, es würde kaum ein muſikaliſcher Genuß möglich ſeyn.

Nach den Bezeichnungen, welche wir in dieſen Paragraphen kennen gelernt haben, können wir nun auch die verſchiedenen Töne näher bezeichnen, welche eine und dieſelbe Röhre giebt. Bei einer offenen Röhre nämlich iſt der zweite Ton die Octave des Grundtons, bei einer gedeckten Pfeife iſt er die Quinte der nächſt höheren Octav.

Der tiefſte Ton, welcher in der Muſik zur Anwendung kommt, iſt derjenige, welchen eine gedeckte Pfeife von 16 Fuß giebt. Nun wiſſen wir aber, daß, wenn eine gedeckte Pfeife ihren tiefſten Ton giebt, ihre Wellenlänge gerade $1/4$ der Wellenlänge dieſes Tons iſt, die Wellenlänge für dieſen Ton iſt demnach in gewöhnlicher Luft 64 Fuß.

In einer Sekunde pflanzt ſich der Schall um 1050′ fort; dividirt man dieſe Zahl durch 64, ſo findet man, um wieviel Wellenlängen dieſer tiefſte Ton in einer Sekunde fortſchreite oder, was daſſelbe iſt, wieviel Oscillationen in einer Sekunde nöthig ſind, um dieſen tiefſten Ton der Muſik hervorzubringen; man findet die Zahl 16,4.

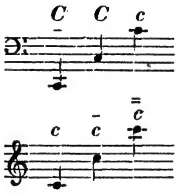
Ebenſo findet man, wieviel Oscillationen in der Sekunde die Luft in einer gedeckten Pfeife macht, wenn ſie ihren tiefſten Ton giebt, indem man mit der *vierfachen Länge der Pfeife* (in pariſer Fußen ausgedrückt) in 1050 dividirt.

Im Ganzen umfaßt die Muſik 9 Octaven. Der erwähnte tiefſte Ton einer 16füßigen gedeckten Pfeife wird mit $\underline{\underline{C}}$ bezeichnet.

Da dieſer Ton nun 16,5 Schwingungen in der Sekunde macht, ſo iſt Folgendes die Schwingungszahl der auf einander folgenden Octaven dieſes Tons:

$\underline{\underline{C}}$	16,5
$\underline{C}$	33
C	66
c	132
$\overline{c}$	264
$\overline{\overline{c}}$	528.

Mit unſeren Noten werden dieſe Töne folgendermaßen bezeichnet:



Vom Licht.

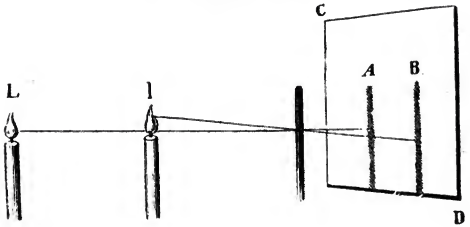
Der vom Lichte handelnde Abſchnitt wurde ſchon bei der erſten Auflage ſo durchgearbeitet, daß in den folgenden Ausgaben keine bedeutenden Veränderungen nöthig waren, und zwar um ſo weniger, da jetzt gerade in der Lehre vom Licht wenig Neues publicirt wird, wir haben hier alſo auch nur wenig nachzutragen.

Photometer.

Auf den in Nro. 350 Seite 96 ausgeſprochenen Satz, daß die Intenſität der Erleuchtung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung von der Lichtquelle ſteht, gründen ſich alle diejenigen Vorrichtungen, welche man zur Vergleichung der Lichtſtärke verſchiedener Lichtquellen anwendet, und welche man Photometer nennt.

In Fig. 157 ſtelle *CD* eine weiße Wand dar. Nahe vor derſelben iſt

Fig. 157.

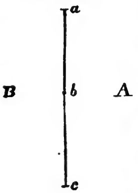


ein undurchſichtiges Stäbchen, etwas dicker als ein Bleiſtift, aufgeſtellt; wenn ſich nun ein Licht in l, ein anderes in L befindet, ſo werden auf der Wand zwei Schatten des Stäbchens entſtehen, der eine in A, der andere in B. Derjenige Theil der Wand, auf welchem ſich kein Schatten befindet, iſt von beiden Lichtern beſchienen, der Schatten A iſt nur durch das Licht L, B nur durch l beleuchtet. Wenn nun beide Lichtquellen vollkommen gleich ſind, ſo werden die beiden Schatten gleich dunkel erſcheinen, wenn ſich die beiden Lichter in gleicher Entfernung befinden. Wenn aber bei gleicher Entfernung die Lichtquelle L ſtärker leuchtet, ſo wird der Schatten B dunkler erſcheinen als A, und um die beiden Schatten wieder gleich zu machen, müßte man L weiter vom Schirme entfernen. Nehmen wir an, man hätte L wirklich ſo weit zurückgerückt, daß beide Schatten wieder gleich ſind, ſo verhält ſich die Lichtſtärke der beiden Flammen wie das Quadrat ihrer Entfernung vom Schirme; wäre alſo L 2mal, 3mal ſo weit vom Schirme entfernt als l, ſo wäre die Intenſität der Lichtquelle L 4mal, 9mal ſo groß als die von l.

Bunſen's Photometer.

Das Princip dieſes Photometers beruht auf dem Umſtande, daß eine ungleich transparente Fläche nur dann von homogener Helligkeit erſcheint, wenn ſie von beiden Seiten Lichtmengen von gleicher Intenſität empfängt, daß dagegen der durchſcheinende Theil gegen den weniger durchſcheinenden ſich dem Auge an der Seite dunkler darſtellt, wo die Intenſität des ſie beleuchtenden Lichtes überwiegt. Wird z. B. ein Blatt ſtarkes Zeichenpapier, welches von a bis b Fig. 158 mit Stearinſäure getränkt iſt, von beiden Seiten durch zwei Lichtquellen A und B *gleich ſtark* erleuchtet, ſo erſcheint der getränkte und nicht getränkte Theil von gleicher Helligkeit und beide laſſen ſich nicht durch das Auge von einander unterſcheiden. Die Urſache dieſer Erſcheinung iſt leicht verſtändlich; denn faßt man z. B. die von B aus erleuchtete Fläche in's Auge, ſo ſieht man ſogleich, daß ſie (der Einfachheit wegen von parallelen Strahlen erhellet gedacht) auf allen Punkten eine gleiche Lichtmenge empfängt, die theils zurückgeworfen, theils je nach dem Grade der Transparenz hindurchgelaſſen wird. Denkt man ſich nun zunächſt die Lichtquelle A hinweg, ſo wird die Papierfläche, trotz der gleichen auf ſie von B aus auffallenden Lichtmenge, nicht homogen, ſondern bei ab dunkel und bei bc hell erſcheinen, weil bei ab mehr Licht durch das transparentere Papier verloren geht als bei bc. Denkt man ſich dagegen das

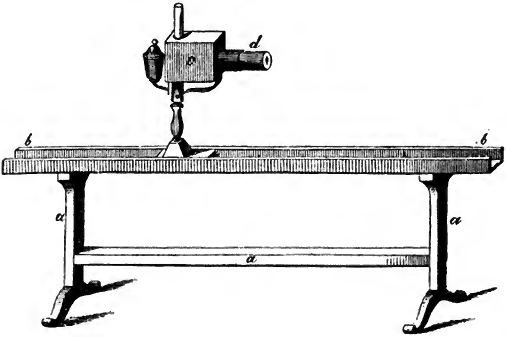
Fig. 158.



Papier von der Seite *A* her gleich ſtark beleuchtet, ſo muß der Verluſt an Helligkeit, welchen die *B* zugekehrte Seite des Papiers erleidet, durch das von *A* her durchgelaſſene an Intenſität äquivalente Licht genau compenſirt werden und die Papierfläche gleich hell erſcheinen, wie ungleich ihre Transparenz bei *ab* und *bc* auch ſeyn mag. Durch eine ähnliche Betrachtung läßt ſich beweiſen, daß, wenn von *A* her intenſiveres Licht auffällt als von *B*, das transparentere Papierſtück *ab* von *B* geſehen heller, und umgekehrt, wenn von *A* her weniger Licht kommt als von *B*, dunkler erſcheinen muß als *bc*.

Die Einrichtung des auf dies Princip gegründeten Photometers iſt folgende: *a a*, Fig. 159, iſt ein hölzernes Geſtell, welches die am Rande

Fig. 159.



mit einer Maaßeintheilung verſehene Rinne *bb* trägt, in der der Photometerkaſten *c* ſich ſo verſchiebt, daß er in beliebige Entfernungen von der zu unterſuchenden Lichtquelle gebracht werden kann. Der inwendig geſchwärzte Photometerkaſten *c* enthält eine möglichſt conſtante Lichtquelle, etwa eine Argand'ſche Lampe, und iſt mit einem Auszugsrohre *d* verſehen, deſſen äußere Oeffnung durch ein transparentes Papier-Diaphragma verſchloſſen iſt. Dieſes Diaphragma beſteht in einem weißen, mit Stearinſäure getränkten Zeichenpapier, in deſſen Mittelpunkte ein kleiner nicht getränkter Ring von dem Umfange einer Erbſe frei gelaſſen iſt. Um dies zu bewerkſtelligen, legt man das Papier auf eine erwärmte Platte und reibt geſchmolzene Stearinſäure (von einem Stearinlichte) in immer engeren Kreiſen mit dem Finger darauf umher, bis noch eine kleine ungetränkte Kreisfläche übrig bleibt. Legt man in den Mittelpunkt dieſer Kreisfläche ein Körnchen Stearin, während das Papier auf der heißen Unterlage liegt, ſo gelangt man leicht dahin, einen kleinen regelmäßigen

ungetränkten Ring auf den gleichmäßig vom Stearin durchdrungenen Papiere herzuſtellen.

Betrachtet man das Diaphragma, während es durch eine möglichſt conſtante Lichtquelle im Inneren des Kaſtens erhellet iſt, von einem dunkeln Raume aus, ſo erſcheint der ungetränkte Ring des Papiers ſchwarz auf weißem Grunde. Bringt man ein Licht vor das Diaphragma, ſo wird der dunkle Ring in dem Maße heller, als ihm das Licht näher und näher rückt, bis er in einer gewiſſen Entfernung völlig verſchwindet, und bei noch größerer Näherung des Lichtes hell auf dunklerem Grunde wieder zum Vorſchein kommt. Die Durchgangsphaſe, wo der Ring verſchwindet, läßt ſich daher ſehr ſcharf beſtimmen. Hat man den Photometerkaſten der zu unterſuchenden Lichtquelle ſo weit genähert, daß man den Ring auf dem Diaphragma nicht unterſcheiden kann, daß er alſo weder heller noch dunkler erſcheint, als der Grund, ſo erhält man das umgekehrte Intenſitätsverhältniß der zu vergleichenden Lichtquellen, d. h. der im Kaſten und derjenigen, welche von Außen her das Diaphragma beſcheint, wenn man die Entfernung derſelben vom Diaphragma mißt und auf's Quadrat erhebt.

Um die Intenſität etwas verſchieden gefärbten Lichtes zu vergleichen, reicht es hin, das Inſtrument weniger empfindlich zu machen, d. h. den Unterſchied der Transparenz durch Anwendung eines dickeren Papieres zu verringern. Die Wirkung, welche dadurch erreicht wird, iſt leicht erſichtlich. Denn denkt man ſich z. B. die vordere Fläche durch röthliches Licht, die hintere aber durch weißes erhellet, ſo wird an den transparenteſten Theilen ſtets eine größere Menge durchgelaſſenes rothes Licht durch weißes von der anderen Seite her erſetzt, während der weniger transparente Theil weniger rothes Licht hindurchläßt, was durch weißes von hinten erſetzt wird. Der transparentere Theil erſcheint daher ſtets etwas blaſſer roth gefärbt als der andere. Verringert man aber den Unterſchied in der Durchſcheinheit, ſo wird der Farbenunterſchied für das Auge nach und nach verſchwindend, während man den Uebergang von Hell in Dunkel noch deutlich wahrnehmen kann. Statt ein ſtärkeres Papier anzuwenden, iſt es in ſolchen Fällen noch beſſer, das Diaphragma zwiſchen zwei mattgeſchliffene Glasplatten zu bringen.

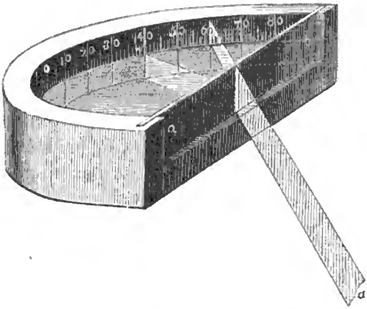
Apparat zur Demonſtration des Brechungsgeſetzes.

Um das Brechungsgeſetz durch den Verſuch zu begründen, iſt der Apparat Fig. 160 ſehr geeignet.

Ein zwei bis drei Zoll hohes Gefäß iſt auf der einen Seite durch eine ebene Glasfläche *a b*, außerdem aber durch eine halbkreisförmige vertikale

Wand begränzt Die Glasfläche iſt bis auf eine in ihrer Mitte befindliche Spalte von ½ bis 1 Linie Breite mit undurchſichtigem Papier zugeklebt oder angeſtrichen; die halbkreisförmige Rückwand iſt im Inneren mit einer Gradtheilung verſehen, deren Nullpunkt der Spalte gerade gegenüber liegt.

Fig. 160.



Dies Gefäß wird nun ungefähr bis zur Hälfte mit Waſſer gefüllt.

Bringt man nun ein Kerzenlicht in einiger Entfernung gerade vor den Spalt, ſo werden die durch denſelben einfallenden Lichtſtrahlen gerade den Nullpunkt der Theilung treffen. Bringt man aber das Licht auf die Seite, ſo werden die Lichtſtrahlen, welche durch die Spalte in das Gefäß eindringen, im oberen und unteren Theile nicht an derſelben Stelle die Rückenwand treffen. Der Theil des Lichtbündels, welcher im oberen Theile des Spaltes eindringt, ſetzt ſeinen Weg in gerader Linie fort, während die untere Hälfte des Lichtbündels beim Eintritt in das Waſſer eine andere Richtung erhält und alſo auch an einer anderen Stelle die Rückwand trifft.

Nehmen wir an, man habe die Lichtquelle ſo weit auf die Seite gerückt, daß das durch die obere Hälfte des Spaltes einfallende Licht gerade den Theilſtrich 60 trifft, wie dies in unſerer Figur dargeſtellt iſt, ſo wird der untere Theil des Lichtbündels bei ſeinem Eintritt in das Waſſer nach einem Punkte der Rückwand abgelenkt, welcher $40\frac{1}{2}^{0}$ weit vom Nullpunkt abſteht.

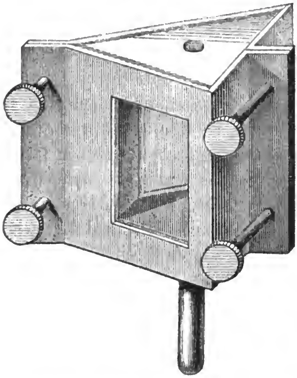
Hätte das Licht ſo geſtanden, daß durch die obere Hälfte des Spaltes der Theilſtrich 30 beleuchtet worden wäre, ſo würde das im Waſſer gebrochene Lichtbündel bei 22^{0} die Rückwand getroffen haben.

Wäre das Licht durch die obere Hälfte des Spaltes, alſo ſtets in gerader Richtung fortgehend, auf 15^{0} gefallen, ſo würde gleichzeitig der gebrochene Stahl auf $11\frac{1}{4}$ gefallen ſeyn u ſ. w.

Beſtimmung des Brechungsexponenten flüſſiger Körper mit Hülfe von Hohlprismen.

Eine zweckmäßige Form des Hohlprismas iſt durch Fig. 161 dargeſtellt. Ein dreiſeitiges Prisma von Meſſing (beſſer wäre Glas, damit man auch Säuren einfüllen kann) iſt durchbohrt, wie man aus der Fig. 161 erſieht.

Fig. 161.

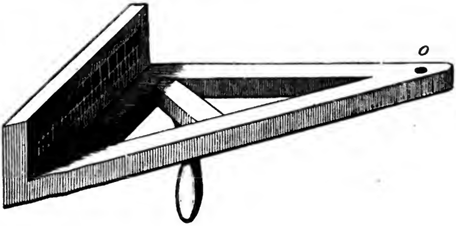


Die Oeffnung iſt entweder viereckig, wie ſie die Figur zeigt, oder ſie iſt rund; letzteres iſt für kleinere Prismen beſſer. Auf den beiden Seiten, welche die brechenden Flächen des Prismas bilden, ſind Platten von Spiegelglas aufgelegt, welche durch Hülſen von Meſſingblech mit Hülfe von 4 Schrauben auf die Flächen des Hohlprismas aufgepreßt werden. Oben iſt eine Oeffnung, durch welche die Flüſſigkeit eingefüllt und welche ſelbſt durch einen Stöpſel verſchloſſen werden kann. An kleineren Prismen iſt an jeder Seite nur eine Schraube angebracht.

Das oben angegebene Meſſungsverfahren, durch welches das Minimum der Ablenkung eines Prismas ermittelt wird, giebt den Werth des Ablenkungswinkels mit großer Genauigkeit; in vielen Fällen aber, in welchen es genügt, den Brechungsexponenten bis auf zwei, vielleicht auch drei Decimalſtellen genau zu haben, iſt dies Verfahren doch etwas umſtändlich und es erfordert doch auch ſchon ziemlich koſtbare Apparate.

In ſolchen Fällen läßt ſich der Apparat Fig. 162 mit Vortheil an=

Fig. 162.



wenden. Er beſteht aus einem hölzernen Dreiecke, an welchem unten ein Griff befeſtigt iſt, ſo daß man es wie einen Spiegelſextanten bequem horizontal halten kann. An einer Seite des rechten Winkels ſteht ein Brettchen vertikal, und auf dieſem befindet ſich eine Theilung. Bei *o* befindet ſich ein Loch, und ein von demſelben auf das vertikale Brettchen gefälltes Perpendikel trifft den Nullpunkt der Theilung. In dieſes Loch wird nun das Prisma eingeſetzt; für Flüſſigkeiten ein kleines Hohlprisma von der Art wie Fig. 161.

Wenn das Hohlprisma bis zur Hälfte mit einer Flüſſigkeit gefüllt iſt, ſo erblickt man durch den unteren Theil deſſelben das gebrochene, nach der linken Seite hin verſchobene Bild des Nullpunktes der Scala, während man durch den oberen Theil die Scala direct ſieht. Die Stelle, an welcher das gebrochene Bild des Nullpunktes erſcheint, iſt veränderlich, je nachdem man das Prisma um ſeine vertikale Axe etwas mehr nach der einen oder der andern Seite dreht, es läßt ſich aber durch ein ſolches Drehen ſtets leicht eine Stellung des Prismas ausfindig machen, für welche die Ablenkung ein Minimum iſt. Wenn z. B. Waſſer in das Prisma gefüllt worden iſt, ſo giebt es eine beſtimmte Stellung, für welche das Bild des Nullpunktes mit dem durch den oberen Theil der Prismas geſehenen 58. Theilſtriche zuſammenfällt, für jede andere Stellung des Prismas wird das Bild des Nullpunktes noch weiter abgelenkt erſcheinen.

Wenn das Prisma ſo geſtellt iſt, daß das Bild des Pfeiles ein Minimum von Ablenkung erfährt, ſo läßt ſich der Brechungsexponent der Flüſſigkeit im Prisma leicht aus dem beobachteten Ablenkungswinkel und dem brechenden Winkel des Prismas berechnen.

Der brechende Winkel des Prismas iſt für unſer Inſtrument 45°.

Der Ablenkungswinkel ergiebt ſich aus der Beobachtung des Theilſtriches, mit welchem das Bild des Nullpunktes zuſammenfällt; man hat nämlich nur die Zahl dieſes Theilſtriches durch die Entfernung des Prismas von der Scala zu dividiren, um die Tangente des Ablenkungswinkels zu finden. Die Entfernung des Prismas von der Scala beträgt in unſerm Inſtrumente 200^{mm}, und wenn das Prisma mit Waſſer gefüllt iſt, ſo erſcheint das Bild des Pfeiles um 58^{mm} nach der Linken gerückt, die Tangente des Ablenkungswinkel iſt alſo in dieſem Falle

$$\frac{58}{200} = 0{,}29.$$

Der Ablenkungswinkel ſelbſt iſt alſo in dieſem Fall 16° 10′ 20″.

Den Brechungsexponenten der zu unterſuchenden Flüſſigkeit berechnet man nun nach der Formel

$$n = \frac{sin.\ \frac{D + g}{2}}{sin.\ \frac{g}{2}},$$

in welcher g den brechenden Winkel des Primas und D das Minimum des Ablenkungswinkels bezeichnet; für unſer Inſtrument iſt $g = 45$ und bei dem eben beſprochenen Beiſpiele $D - 16^0\ 10'\ 20''$.

Um die jedesmalige Berechnung der Brechungsexponenten zu erſparen, ſind in der folgenden Tabelle die Brechungsexponenten zuſammengeſtellt, welche den einzelnen Theilſtrichen der Scala von 10 zu 10 entſprechen:

Scalentheile.	Entſprechende Brechungsexponenten.	Differenzen der Brechungsexponenten für einen Scalentheil.
50	1,2875	0,00525
60	1,3400	0,00504
70	1,3904	0,00481
80	1,4385	0,00459
90	1,4844	0,00435
100	1,5279	0,00411
110	1,5690	0,00385
120	1,6081	0,00368
130	1,6449	0,00347
140	1,6796	0,00325
150	1,7121	0,00309
160	1,7430	0,00292
170	1,7715	0,00270
180	1,7985	0,00255
190	1,8250	0,00232
200	1,8572	

Erſchiene z. B. für eine beſtimmte Flüſſigkeit beim Minimum der Ablenkung das Bild des Nullpunktes beim Theilſtriche 80, ſo wäre der Brechungsexponent dieſer Flüſſigkeit 1,4385.

Um auch leicht die Brechungsexponenten für die Zwiſchenabtheilungen der Scala finden zu können, ſind in der letzten Columne der Tabelle die Differenzen der Brechungsexponenten angegeben, welche den einzelnen Theilſtrichen entſprechen. Hätte man z. B. den Nullpunkt beim Theilſtriche 113 beobachtet, ſo hätte man zu dem Brechungsexponenten, welcher dem Theilſtriche 110 entſpricht, alſo zu 1,5690 noch dreimal die Differenz 0,00385 zu addiren, der Brechungsexponent, welcher dem Theilſtriche 113

entſpricht, iſt alſo $1{,}5690 + 0{,}00385 \times 3 = 1{,}5690 + 0{,}01155 = 1{,}58055$.

Da der Brechungsexponent für verſchiedene Farben nicht gleich iſt, ſo muß man, um genaue Reſultate zu erhalten, den Brechungsexponenten für irgend eine beſtimmte Farbe ermitteln, und dies geſchieht am beſten, wenn man durch farbige, etwa durch rothe, Gläſer beobachtet.

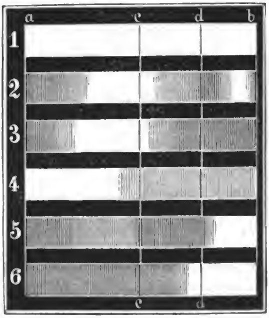
Prismatiſche Zerlegung der Farben durchſichtiger Körper.

Sehr ſchön laſſen ſich die Farben durchſichtiger Körper mittelſt des Prismas analyſiren; man laſſe durch eine ſchmale Spalte ein Bündel Sonnenſtrahlen in ein dunkles Zimmer fallen und fange daſſelbe durch ein Flintglasprisma auf, ſo wird man auf einem Papierſchirm ein ſchönes Farbenſpectrum erhalten. Stellt man nun zwiſchen die Spalte und das Prisma den durchſichtigen farbigen Körper, ſo wird eine Abſorption eintreten und ein größerer oder geringerer Theil des Spectrums erſcheint nun ausgelöſcht.

Um farbige Flüſſigkeiten zu unterſuchen, bringt man ſie in ein durch zwei parallele Glaswände begrenztes Gefäß.

In Fig. 163 ſtellt der oberſte weiße Streifen das Spectrum eines Flintglasprismas dar; bei *a* iſt das violette, bei *b* iſt das rothe Ende. Zwiſchen *c* und *d* liegt das Grün; alſo rechts von *d* Gelb, Orange und Roth, links von *c* Blau, Indigo und Violett. Läßt man nun die Lichtſtrahlen, bevor ſie auf das Prisma fallen, durch eine bis auf einen gewiſſen Grad verdünnte Auflöſung von Indigo gehen, ſo erſcheint das Spectrum, wie in Nr. 2; man ſieht nun einen ſchmalen rothen Streifen und einen breiteren von der Gränze zwiſchen Blau und Grün nach den beiden Seiten ſich erſtreckend, es iſt alſo abſorbirt: das violette Ende, ein Theil des Grün, Gelb, Orange und ein Theil des Roth. Berliner Blau in Oxalſäure aufgelöſ't, Nr. 3, läßt nur Blau und etwas Grün durch; ſchwefelſaures Kupferoxydammoniak, Nr. 4, abſorbirt Grün, Gelb, Orange und Roth; Karmin in Salmiak gelöſ't, Nr. 5, läßt nur Roth, etwas Orange durch, ſaures chromſaures Kali nur Roth, Orange, Gelb und etwas Grün.

Fig. 163.

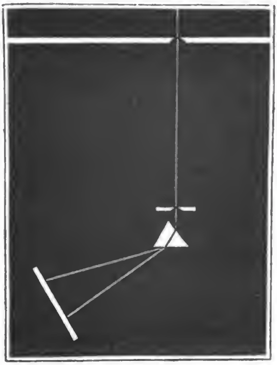


Mit fortſchreitender Verdünnung der Löſung erweitern ſich die hellen Stellen, ſo daß auch die abſorbirten Parthien mehr und mehr hell werden.

Fraunhofer'ſche Linien auf einem Papierſchirm.

Auch auf einem Schirme, auf welchem man das Spectrum auffängt, kann man Streifen ſichtbar machen. Man laſſe durch eine etwa ½ Millimeter breite Spalte einen durch den Spiegel des Helioſtaten reflectirten Sonnenſtrahl in das dunkle Zimmer fallen und ſtelle das Prisma 6 bis 10 Schritt weit von der Spalte auf, ſo wird man leicht ein ſchönes Spectrum erhalten, und kann daſſelbe auf einem Schirme von halbdurchſichtigem Papiere, Durchzeichenpapier, auffangen. Hier ſieht man nun noch keine dunkle Streifen, es werden jedoch deren mehrere ſichtbar, ſobald man eine zweite Spalte, die aber etwas weiter ſeyn kann, unmittelbar vor dem Prisma aufſtellt. Das ganze Arrangement dieſes Verſuchs iſt durch Fig. 164 dargeſtellt.

Fig. 164.



Weit ſchöner wird das Spectrum, wenn man die zweite Spalte wegläßt und eine Linſe von ½ bis 1 Meter Brennweite hinter dem Prisma aufſtellt. Bei gehöriger Entfernung des Schirms ſind nun die Fraunhofer'ſchen Linien viel ſchärfer und deutlicher.

Prismatiſche Zerlegung der Farben kryſtalliſirter Plättchen.

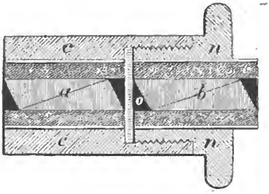
Daß die Farben der Gypsblättchen wirklich ſo zuſammengeſetzt ſind, wie es die Theorie Seite 316 angiebt, läßt ſich dadurch zeigen, daß man ſie mit dem Prisma analyſirt; dazu iſt beſonders folgende Methode geeignet.

Man ſtelle ein Prisma ſammt Linſe ſo auf, wie es zur Erzeugung der Fraunhofer'ſchen Linien auf einem Schirme nöthig iſt, nur kann die Spalte etwas weiter geöffnet ſeyn; wenn man ein ſchönes Spectrum auf dem Schirme hat, ſo ſtellt man dicht hinter der Spalte ein zwiſchen zwei Nicol'ſchen Prismen befindliches Gypsblättchen auf.

Das Gypsblättchen muß zwiſchen zwei runde Glasplatten gekittet ſeyn;

um es bequem aufſtellen zu können, muß es mit den beiden Nicol'ſchen Prismen in eine geeignete Holzfaſſung eingeſetzt werden.

Fig. 165.



Eine ſolche zweckmäßige Faſſung iſt in Fig. 165 dargeſtellt. Das Nicol'ſche Prisma *a* iſt in einen Kork und dieſer wieder in eine Meſſinghülſe geſteckt; es iſt dies die gewöhnliche Art, die Nicol'ſchen Prismen zu faſſen. Das Prisma iſt nun ſammt ſeiner Faſſung in einem hohlen Holzcylinder geſteckt, welcher auf der einen Seite noch vorragt und innen mit einem Schraubengewinde verſehen iſt; hier wird das zwiſchen zwei Glasplatten gekittete Gypsblättchen *o* eingelegt und dann im zweiten hohlen Holzcylinder *n* eingeſchraubt, in welchem ein zweites Nicol'ſches Prisma *b* ſteckt. Das Gypsblättchen muß in der gehörigen Lage gegen die Polariſationsebene des Prismas *a* eingelegt werden; das zweite Prisma *b* iſt in ſeiner hölzernen Hülſe leicht drehbar.

Den ganzen Apparat kann man in einen mit einem Stiele verſehenen Holzring ſtecken, der auf ein geeignetes Statif paßt. Auf dieſe Weiſe kann man ihn leicht am gehörigen Orte aufſtellen.

Fig. 166.

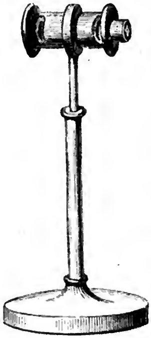


Fig. 166 ſtellt die ganze Vorrichtung ſammt ihrem Statif dar; der hier dargeſtellte Apparat weicht von dem in Fig. 165 im Durchſchnitte gezeichneten nur dadurch ab, daß die mittlere Hülſe auf jeder Seite eine Vorragung hat, in welche man eine Hülſe mit einem Nicol'ſchen Prisma einſchrauben kann, während dies in dem Apparat Fig. 165 nur auf der einen Seite der Fall iſt. Man kann auf dieſe Weiſe das Licht, welches durch zwei Nicol'ſche Prismen in ein dazwiſchenliegendes Gypsblättchen gegangen iſt, durch ein zweites Gypsblättchen und dann abermals durch ein Nicol'ſches Prisma leiten.

Sind die beiden Nicol'ſchen Prismen gekreuzt und iſt in ein Gypsblättchen eingelegt, welches violett (dunkelpurpur) der zweiten Ordnung zeigt, ſo erſcheint ein dunkler Streifen im Gelb des Spectrums, iſt das Gypsblättchen roth der dritten Ordnung, ſo erſcheint ein dunkler Streifen im Blau, für grün vierter Ordnung ein dunkler Streifen im Blau und ein zweiter an der Gränze zwiſchen Roth und Orange.

Je dicker die Gypsblättchen ſind, um ſo mehr dunkle Streifen erſchei-

nen im Spectrum, zugleich aber wird die Farbe der Blättchen immer unſcheinbarer; ein Blättchen, welches drei dunkle Streifen zeigt, iſt ſchon faſt ganz weiß. Wenn die Gypsblättchen dick genug ſind, ſo iſt die Zahl der Streifen ſehr groß und die Streifen ſelbſt ſind alsdann ſehr fein.

Zweiter Theil der Wärmelehre.

Latente Wärme.

Fig. 167.

Die beim Erſtarren frei werdende Wärme läßt ſich ſehr ſchön mit unterſchwefligſaurem Natron in folgender, von Böttger angegebener Weiſe zeigen. — Man füllt ein Glaskölbchen, Fig. 167, welches ungefähr 6 bis 7 Unzen Waſſer faſſen kann und welches einen etwas weiten Hals hat, mit geſtoßenem kryſtalliſirten unterſchwefligſauren Natron ganz voll. Bei vorſichtigem Erhitzen ſchmilzt das Salz bei einer Temperatur von 45°R. in ſeinem Kryſtallwaſſer, und bei fortgeſetztem Erwärmen bringt man das geſchmolzene Salz endlich zum Sieden. Iſt dies erreicht, ſo verſchließt man das Kölbchen raſch mit einem guten Kork und ſtellt es behufs der langſamen Abkühlung auf einen ſchlechten Wärmeleiter. Nach 1 bis 2 Stunden iſt das Kölbchen ſammt ſeinem Inhalt bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, ohne daß ein Erſtarren des Salzes erfolgt, wenn man das Kölbchen vor Erſchütterungen geſchützt hat; wenn man aber nun den Kork vorſichtig wegnimmt und die Kugel eines Thermometers bis unter den Spiegel der Flüſſigkeit eintaucht, ſo geht die Kryſtalliſation durch die ganze Maſſe auf einmal vor ſich und dabei ſteigt das Thermometer um 18 bis 20 Grad.

Daſſelbe Kölbchen mit geſchmolzenem unterſchwefligſauren Natron läßt ſich immer wieder zu demſelben Verſuche anwenden.

Digitized by Google

Digitized by Google